

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

DESIGN ZÁCHRANÁŘSKÉHO DRONU

THE DESIGN OF A RESCUE DRONE

Student:

Bc. Eliška Nováková

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Petr Nenička

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Eliška Nováková**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 60 Průmyslový design
Téma: Design záchranného dronu
The Design of a Rescue Drone
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Pro záchranný dron navrhnete design odpovídající prostředí zásahu. Zpracujte rešerši z oblasti designu/konstrukce dronů, záchranného vybavení apod. Koncepty možných designérských řešení rozpracujte kresběně (skici) a vybrané koncepty dále rozvedte v prostoru (metoda sochařského modelování, modelářství apod.). V rámci finálního konceptu vytvořte somatografickou studii, finální kresby, návrh konstrukčního řešení podložený nezbytnými výpočty, výkres sestavení (min. A1) a dílenský výkres vybraného dílu. K obhajobě připravte prezentaci, plakát (min. A2) a fyzický model celku nebo části ve vhodném měřítku.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava dokumentů zpracovaných textovými procesory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 76 s. Třídící znak 01 6910.

ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 40 s. Třídící znak 01 0197.

HOHENLOHE, Stephan zu. *Drony*. Stručně a přehledně: výběr vhodného modelu, ovládání, foto a video, legislativa. Přeložil Richard KŘÍŽ. Frýdek-Místek: Alpress, 2016. 160 s. ISBN 978-80-7543-234-6.

KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. 264 s. ISBN 978-80-251-4680-4.

KOCOUREK, Jaroslav a Jaroslav ŘEŠÁTKO. *Drony: Praktická příručka pro majitele dronů DJI*. Praha: TELINK, 2017. 178 s. ISBN 978-80-7346-228-4.

VŠB-TUO, FAKULTA STROJNÍ. *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*. Ostrava:

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2015–. Identifikační znak FS_SME_05_003. Dostupné z: http://iso.fs.vsb.cz/SME/FS_SME_05_003_VypracovaniDPBP.pdf

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **MgA. Petr Nenička**

Konzultant diplomové práce: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),

bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,

s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,

užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),

beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis autora práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří byť jen malou radou přispěli ke vzniku této diplomové práce. Především svým přátelům, kteří mi pomohli se zpracováním textu v tištěné podobě a online podání z důvodů mé zdravotní indispozice pracovat s PC. Dále patří dík také vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Petru Neničkovi za odborné vedení, cenné informace a trpělivost. Největší dík bych však chtěla vyjádřit své rodině za jejich podporu nejen při studiu.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

NOVÁKOVÁ, Eliška, Bc. *DESIGN ZÁCHRANÁŘSKÉHO DRONU*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2020. 71 s. Diplomová práce, vedoucí práce: Nenička, P.

Diplomová práce se zabývá aplikací sjednocení funkční účelnosti a estetického vzhledu dronů, sloužících pro záchranné integrované jednotky. V úvodní části práce je stručně popsána charakteristika dronů včetně jejich využití a funkčních vlastností. Další kapitoly se zabývají strukturou a integrací specifického vybavení s přímou vazbou k záchranným akcím. Následující část se věnuje optimálnímu návrhu řešení designu dronu. Závěr práce pojednává o výsledném konceptu záchranné aparatury.

Klíčová slova: bezpilotní letoun, multikoptéra, dron, rotor, záchranné akce, záchranný materiál

ANNOTATION OF THESIS

NOVAKOVA, Eliska, Bc. *THE DESIGN OF A RESCUE DRONE*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical university of Ostrava, 2020, 71 p. Thesis, Thesis head: Nenička, P.

The thesis deals with the application of the unification of functional efficiency and aesthetic appearance of drones, used for rescue units. The introductory part of the thesis briefly describes the characteristics of drones, including their use and functional properties. The next chapters deal with the structure and integration of specific equipment with a direct link to rescue operations. The following section deals with the optimal design of a drone design solution. The conclusion of the thesis deals with the final concept of rescue equipment and design.

Key words: drone, multicopter, rotor, rescue operations, rescue material

Obsah kvalifikační práce

Úvod	1
Rešerše literatury	3
1 Úvodní definice a terminologie	7
2 Charakteristika dronů a jejich kategorie	9
2.1 Letouny s pevnou nosnou plochou	10
2.1.1 Bezpilotní letouny	10
2.1.2 Křídla	12
2.2 Letouny s rotující nosnou plochou	12
2.2.1 Bezpilotní vrtulník	13
2.2.2 Multikoptéry	13
3 Multikoptéry	14
3.1 Koaxiální konstrukce	14
3.2 Využití a vlastnosti multikoptér	15
3.3 Hexakoptéry	18
3.4 Základní komponenty multikoptér	18
3.5 Legislativa a nařízení pro užívání bezpilotní letounů	19
4 Horská služba	21
4.1 Záchranářské vybavení	22
4.2 Dron jako součást výbavy horské služby	23
5 Praktická část	24
5.1 Cíle práce:	24
5.2 Vývoj konceptu dronu:	26
5.2.1 Varianta č. 1	30
5.2.2 Varianta č. 2	33
5.2.3 Varianta 3	34
6 Finální koncept	38
6.1 Materiál	38
6.2 Rám dronu	38
6.3 Vrtule	40
6.4 Motor	41
6.5 Akumulátor	42
6.6 Regulátor	44
6.7 Vrchní část těla dronu	45
6.8 Dolní část těla dronu	51
6.9 Záchranářský box	53

6.10	Podvozek dronu	54
6.11	Specifické vybavení	55
6.11.1	Gimbal s klasickou i termovizní kamerou.....	55
6.11.2	Reproduktor s mikrofonom.....	55
6.11.3	Lavinový senzor	56
6.12	Design a barevná kompozice	56
6.13	Hmotnost letounu	59
6.14	Kontrola statického zatížení podvozku dronu.....	60
6.14.1	Výsledek analýzy:	62
7	Závěr.....	63
	Seznam použité literatury	64
	Seznam obrázků	69

Seznam použitých zkratk

UAV	- Unmanned Aerial Vehicles – bezpilotní letecké prostředky
UAS	- Unmanned Aerial Systems – bezpilotní letecké systémy
RPAS	- Remotely Piloted Aircraft Systems – dálkově ovládané letecké systémy
GPSS	– Global Navigation Satellite Systém- služba umožňující autonomní prostorové určování polohy s celosvětovým pokrytím pomocí družic
GPS	- Global Positioning Systém – globální družicový polohovací systém provozovaný USA
RC	- Remote Control, Radio Control – dálkové ovládání
MTOM	- maximum takeoff mass – maximální vzletová hmotnost
ÚCL	- Úřad pro civilní letectví - úřad, který má v ČR dohled nad legislativou a provozem dronů
VLOS	- visual line of sight – létání v přímém dohledu pilota dronu, podmínka pro komerční drony v ČR a téměř všude po světě
BVLOS	- beyond visual line of sight – létání mimo dohled pilota dronu
FPV	- řízení dronu z vlastního pohledu podle palubní kamery na dronu; sada FPV obsahuje i brýle pro přenos obrazu v reálném čase z palubní kamery do brýlí s displeji
VTOL	- vertical take-off and landing – značí vertikální vzlet a přistání
Li-pol	- Lithium polymerové akumulátory
S	- údaj uváděný s číslem, jako například 2S, 3S, který udává počet článků akumulátoru zapojených sériově
P	- údaj uváděný s číslem, jako například 2P, 3P, který udává počet článků akumulátoru zapojených paralelně

Úvod

Od útlého věku si veškerou moji pozornost podmanily hory a letadla. Vysokohorskou turistiku můžeme považovat jako adrenalinovou a mnohdy také hazardní aktivitu, která obnáší určitou nutnost znalostí v okruhu poskytnutí případné pomoci. Díky tomuto záměru jsem se začala věnovat i oblasti lékařského působení, protože schopnost pomoc druhým je pro mě klíčovým argumentem v plánu osobního rozvoje. Nacházím tedy jistou tendenci směřovat problematiku práce k nalezení užitečného řešení poskytnutí pomoci na horách prostřednictvím bezpilotního letounu. Baví mě navrhopvat věci, které mají hodnotný smysl.

Integrované záchranné složky a jejich náležitý prostředky jdou takřka ruku v ruce k uskutečnění záchranných akcí a poskytnutí první pomoci. Vzhledem k dnešnímu trhu a rostoucí snaze dosáhnout širšího spektra působení tohoto vybavení je cílem systému z progresivního a nenáročného hlediska vytvořit komfortní podmínky pro výkon poslání těchto složek.

Horská služba disponuje širokou škálou optimální výbavy určené do extrémních podmínek, avšak žádný prostředek nenabízí takovou míru multifunkčnosti jako právě dron. Jedná se především o možnost rychlejší detekce a transportu ke zraněným osobám, kde může operátor letounu zahájit záchrannou akci před samotným příjezdem záchranářů. Přínos dronu jsem vzala v úvahu i v dalších oblastech působení horské služby, kde je schopný nejen usnadnit a urychlit práci záchranářů, ale také je nevystavovat případnému ohrožení na vlastních životech.

Docílit optimálního navržení bezpilotního letounu, který bude používán v náročných horských podmínkách s důrazem kladeným na nejvyšší možnou spolehlivost, bezporuchovitost a způsobilost provozu je věc nelehká a z tohoto hlediska se svou složitostí velmi málo využívá. Inspirací a jistým vodítkem při návrhu takto komplikovaného konceptu mi byl již existující model záchranářského dronu „Kingfisher“ firmy Robodrone, kterým disponuje jakožto jediný okrsek v ČR, a to stanice horské služby v Krkonoších.

Většina dronů nachází využití pro soukromé či komerční účely, především pro focení, natáčení, mapování a další. Jejich potenciál je však z mého pohledu patrně způsobilejší.



Obrázek 1 – Finální koncept jako výbava Horské služby

Rešerše literatury

Záchranářský drone, diplomová práce, BcA. Žaneta Příhodová, ČVUT - Práce se zabývá návrhem jednoosobního letounu pro záchranné účely v horských oblastech. Letoun je přizpůsoben k hledání pohřešovaných osob ve špatně přístupném terénu, ale i osoby zraněné na sjezdovkách, či zasypaných lavinou. Letoun poté transportuje postiženého z kritického místa na místo, kde je zajištěno lékařské ošetření. Tento koncept se ve světě momentálně nevyužívá. Aerodynamické a konstrukční vlastnosti jsou založeny na tvaru létajícího hmyzu a ptáků, primárně na tvaru těla kobylinky zelené. Dron je možno vidět na Obrázku 1. [12]



Obrázek 2 - Jedoosobní letoun pro transport zraněné osoby [12]

Dron Robodrone Kingfisher pro Horskou službu Krkonoše - Momentálně využívaným dronem je model Robodrone Kingfisher české firmy Robodrone Industries, který je využíván Horskou službou v Krkonoších. Obsahuje kameru, jejíž obraz snímá pilot na svém tabletu, kde současně může zadávat trasu letu do mapy. Jeden z modulů dronů obsahuje megafon, který umožní komunikaci operátora s postiženým. Další modul může obsahovat také záchranný balíček, ale není zřejmé, jestli se tento modul již používá. Do budoucna je možno počítat s přidáním modulů s lavinovými pípáky, senzor pro vyhledání mobilního signálu pro zjednodušení lokalizace postižených. Tento dron je možno vidět na Obrázku 2. [13]



Obrázek 3 – Bezpilotní letoun Robodrone Kingfisher firmy Robodrone Industries [13]

Dron DJI Matrice 210 pro Hasičský záchranný sbor ČR - Tento dron využívající HZS ČR je primárně konstruován pro transport a použití profesionální termokamery Zenmuse XT, který HZS ČR může využít u rozsáhlých průmyslových či lesních požárech, ale i u pátracích akcí po pohřešovaných osobách, tedy průzkum a monitoring místa zásahu. Tento model je v testování u HZS Pardubického, Libereckého, Plzeňského a Moravskoslezského kraje. Termokamera dokáže zaměřit teploty od -40 do $+550$ $^{\circ}\text{C}$ a umí zaznamenat 4K video včetně pořízení fotografií s možností rotace o 360 $^{\circ}\text{C}$, letová výdrž činí cca 20 minut. Jako další vybavení dronu slouží různá čidla pro detekci chemických látek a radiace s přímým přenosem hodnot k operátorovi letounu. Tento dron je možno vidět na Obrázku 3. [14]



Obrázek 4 – Bezpilotní letoun DJI Matrice 210 složky HZS ČR [14]

Dron s AED (Automatizovaný externí defibrilátor) - Další z konceptů dronu pro záchranářské účely je dron, který navrhnul Alec Momont z Delft University of Technology in Delft, Nizozemsko. Tento dron je primárně navržen pro přenos AED (automatizovaný externí defibrilátor), dokáže letět až 100 km/h, rychlost hrála zásadní roli při navržení parametrů, jelikož hlavní vize stroje tkví v co nejrychlejší doručení zdravotnického vybavení ke člověku se srdeční zástavou, kde každá sekunda hraje roli, jestli člověk přežije nebo ne. Podle vize návrháře neponese bezpilotní stroj jen lékařské vybavení, ale zprostředkuje hlasovou komunikaci a video mezi zachráncem a záchranářem – operátorem. Váží cca 4 kg a unese cca 4 kg vybavení. Tento dron je možno vidět na obrázku 4.[15], [16], [17]



Obrázek 5 – Bepilotní letoun navržený k transportu AED [16]

Design bezpilotního letounu, Bakalářská práce, Pavol Lupták, VUT - Bakalářská práce se zabývá designem bezpilotního letounu, který je určen primárně na záznam videa a fotografií, vzhledem k novým materiálům a technologiím. Práce je zaměřena na několik grafických návrhů letounu v korespondenci s technickými, ergonomickými a estetickými požadavky [25]. Návrhy je možno vidět na obrázku 5.



Obrázek 6 - designérské návrhy [25]

1 Úvodní definice a terminologie

Dálkově ovládaná letadla bez posádky se mohou vydat mnohem dál, než by se, kdy podíval letoun s lidskou posádkou. Nemluvíme zde pouze o vojenských účelech, ale například meteorologických průzkumech, či průzkumných letů do kosmu. V dnešní době existuje široká škála termínů pro označení bezpilotních leteckých prostředků nebo také dálkově ovládaných leteckých prostředků, známé také jako „drony“. Jejich původ pochází z anglického slova „drone“, neboli v překladu včelí samec (trubec). Podobnost zvuku bzučení s letem dronu byla nejspíš příčinou, díky které se označení uchytilo v běžné diskusi a dnes je již formálně proslulé jako slangový název letadla bez posádky na palubě ovládaného na dálku.

„Poznámka: V mezinárodním kontextu se bezpilotním letadlem rozumí všechna bezpilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností do 20 kg.“ [1]

V odborné literatuře můžeme narazit na zkratky např.:

- UAV (unmanned aerial vehicle), označení části prostředku, které se nachází ve vzduchu a je určené k činnosti bez pilota na palubě.
- UAS (unmanned aerial system) se pak nazývá celý systém zahrnující i pozemní stanice a příslušenství.

V Evropě a Austrálii se pak převážně preferuje zkratka

- RPA (remote piloted aircraft)
- RPAS (remote piloted aircraft system).

Pod termínem „dron“ můžeme identifikovat základní kategorii prostředků jako např.: multikoptéry, bezpilotní vrtulníky, bezpilotní letouny či křídla. Nabízí se přirovnání k létajícímu robotu nebo vzdušnému plavidlu, které je podle optimálně naprogramovaného softwaru buď plně nebo asistovaně ovládané pověřenou osobou z povrchu země, a nebo způsobilé plně autonomního letu. Tak je tomu například u armádních dronů, operujících na Blízkém východě, jenž jsou řízeny na dálku z USA mimo vizuální dosah pilota, přesahující i 10 000 km vzdálenost.

Pohyb bezpilotních prostředků ve vzdušném prostoru ovšem naráží na legislativní podmínky provozu, především z hlediska zachování bezpečnosti lidí a majetku na zemi. Proto je třeba uvažovat s určitými bariérami, jejich dostatečným otestováním a certifikací zejména ve snaze o maximální spolehlivost a praktické dlouhodobé nasazení. Z pohledu komerčního využití jim nepochybně patří budoucnost a je jen otázkou, za jak dlouho budou nedílnou součástí naší každodenní potřeby a lidé si zvyknou na jejich přítomnost a pomoc.

Pro sjednocení výše zmíněných pojmů budu ve své práci užívat označení „dron“, nezávisle na tom, zda budeme pojednávat o multikoptérách, vrtulnících či letadlech, ať už autonomních, asistovaně dálkově, nebo plně dálkově řízených. [1] [4]

2 Charakteristika dronů a jejich kategorie

V současné době můžeme komerční drony dělit do nejrůznějších kategorií. Vzhledem k tomuto rozsáhlému rozdělení se pokusím následující text zredukovat a cíleně zaměřit na bezpodmínečně nutné údaje. [2]

U základního rozdělení jsou často podnětem tyto charakteristiky letounu:

- Hlavní výkonnostní znaky - velikost, váha, výdrž, dolet, nosnost, maximální výška letu, typ pohonu, způsob ovládání.
- Doplnky - zbraně, různá monitorovací zařízení jako radary, senzory, kamery, termokamery.
- Rychlosti letu - menší než MACH 1, MACH 1, větší než MACH 1 a dále pak větší než MACH 5.
- Funkční charakteristiky - průzkumné, logistické, bojové, vývojové, komerční a multifunkční.

Základní rozdělení dronů:

Základním rozlišením jsou drony *pro zábavu* a *pro profesionály*, jejichž využití shledá podstatu v praktické a specializované činnosti. Zábavné drony se liší rozměrem, hmotností, materiálem, a především pak v ceně. Profesionální využití už vyžaduje propracovanější konstrukci a multifunkční výstupy. Slouží v krátkých časových intervalech a často v náročných podmínkách, proto je zde důraz kladen na bezporuchovost a spolehlivost systému. Tyto drony jsou z kvalitnějšího materiálu se snahou zachovat co nejnížší hmotnost i přes robustnější konstrukci a jejich mnohonásobně vyšší cena se odráží na kvalitě produkce a funkčních vlastností přístroje. [1]

V druhé řadě můžeme drony rozdělit následovně:

Podle stavby konstrukce

- a) Letouny s pevnou nosnou plochou (křídlové)
- b) Letouny s rotující nosnou plochou (vrtulové)

Ve většině případů, ať už mezi hobby uživateli nebo mezi profesionály, jsou nejrozšířenější koptéry, tedy rotující nosné plochy. Oba typy mají své přednosti a nedostatky. Liší se především svým využitím, ale také tvarem, velikostí, ovládáním, způsobem vzletu a přistání. Jednotlivé funkce více přiblížím v následující kapitole. [2] [3]

2.1 Letouny s pevnou nosnou plochou

Pro ucelení problematiky dronů stroze nastíním i vlastnosti prostředků s pevnou nosnou plochou, které jsou z hlediska konstrukce stavěné na podobném principu jako dnešní letadla. Tedy namísto vrtulí vykazují jedno nebo více křídel.

Za jednu velkou výhodu křídlového typu se považuje fakt, že podobně jako letadla využívají efektivně vzlaku vzduchu, což napomáhá snížit hodnotu síly nezbytné k udržení dronu ve vzduchu, a tak šetřit výdrž baterie. Vydrží tedy mnohem déle ve vzduchu se schopností mnohem delšího letu, proto je primárně určen k mapování a leteckého monitoringu větších lokalit. Dosahuje větších rozměrů i skrz zachování relativně nízké hmotnosti. Další výhodou je schopnost nouzového přistání a částečně ovladatelného letu i při kompletním selhání pohonu.

Jejich velkou nevýhodou však zůstává neschopnost setrvání ve visu, což přináší komplikace pro drtivou většinu příkladů využití ve veřejném prostoru. Další jeho nevýhody jsou nízká multifunkčnost, omezená adaptace senzorů, které jsou mimo jiné náchylnější na poškození při přistání. Závěrem klade nároky na startovací rampu a lokalitu letu, kde k přistání potřebuje několik desítek až stovek metrů. [3]

2.1.1 Bezpilotní letouny

Používají se primárně k mapování větších lokalit. V jejich spodní části těla bývá z pravidla fixně umístěný senzor, který dle předem stanoveného letového plánu zaznamenává lokální fotografie. Start těchto prostředků je možný buď hodem z ruky, nebo využitím odpalovacích ramp.

V současnosti vznikají hybridní bezpilotní letouny, jež obsahují i vrtule, což umožňuje kolmý vzlet i přistání, a samotný let je pak bez použití těchto vrtulí pouhým klouzáním jako u letounu. Některé prostředky jsou navíc vybaveny padákem pro kolmý způsob přistání. [1]



Obrázek 7 – Bezpilotní letoun odpalován z rampy [26]



Obrázek 8 – Bezpilotní letoun Primoco [27]



Obrázek 9 - Bezpilotní letoun společnosti NASA s otočnými křídly [28]

2.1.2 Křídla

Jedná se o speciální typ bezpilotních letounů, jejichž název se odráží z jejich vzhledu. Tyto letouny jsou lehké, tenké a přizpůsobené co možná nejlepšímu aerodynamickému tvaru připomínající křídlo. Vyrábí se z lehkého materiálu, jako jsou například uhlíková vlákna. Jejich start probíhá opět hodem z ruky nebo pomocí odpalovací rampy. [1]



Obrázek 10 - Bepilotní letoun "eBee" s pevnými křídly [29]

2.2 Letouny s rotující nosnou plochou

Jak již napovídá název, vrtulové drony pracují na principu lopatkového rotačního pohonu připomínajícím běžné helikoptéry. Mezi hlavní rozdíly oproti klasickým vrtulníkům patří velikost, odlišnost konstrukce a počet rotorů.

Letouny s rotující nosnou plochou nabízí téměř všechny oblasti využití dronů. Oproti prostředkům s pevnou nosnou plochou je jejich doba letu značně omezená, navzdory tomu nabízí výhody jako vyšší stabilitu letu, kolmý vzlet i přistání prakticky kdekoli, neomezený pohyb a schopnost setrvat ve visu, aplikace široké škály senzorů, schopnost navýšit nosnost, jednoduché ovládání a další. [1], [2]

2.2.1 Bezpilotní vrtulník

Bezpilotní vrtulníky nachází menší využití. Oproti multikoptérám zaujímá jejich konstrukce patrně větší rozměry a jako nevýhodu zde představuje i pohon, jehož zdrojem je objemná palivová nádrž. Využívá se pro armádní aplikace a průzkum.

Princip funkce spočívá ve vyvinutí tahu díky působení aerodynamických sil na nosný rotor vrtulníku. Požadovaný náklon stroje je realizován změnou úhlu náběhu listů rotoru.

Kroutící moment, jež vzniká na pohonu hlavního rotoru musí být kompenzován pomocným rotorem. Ten také zajišťuje otáčení vrtulníku kolem svislé osy. Nejčastěji je pomocný rotor realizován jako vertikální vrtule umístěná na ocasu stroje. Kroutící moment však lze eliminovat i použitím druhého horizontálního rotoru, jak můžeme vidět na Obrázek 11, který se otáčí opačným směrem než první horizontální rotor. Tomuto rozpoložení se říká koaxiální konstrukce kapitola 3.1.

[1]



Obrázek 11 - Bezpilotní letoun SkySpotter 150 [30]

2.2.2 Multikoptéry

Vzhledem k předmětu diplomové práce bude tohle téma detailněji rozvedeno v následující kapitole.

3 Multikoptéry

Vlastnosti multikoptér, jakožto předmět téhle práce, podrobněji rozvedu v následujícím textu.

Koptéry a jejich vývoj jsou odvětvím procházejícím neustálým vývinem. Je tak neustálá snaha o zdokonalování a zajištění co největší bezpečnosti jak techniky, tak z pohledu zúčastněných i nezúčastněných osob. Jelikož většina dronů setrvává na elektrickém pohonu pomocí baterií, pak cena za energii k provozu tohoto dronu se pohybuje v řádu několika korun oproti ceně, kterou bychom museli investovat za palivo v případě pilotovaného prostředku.



Obrázek 12 - Hexakoptéra Typhoon H [31]

3.1 Koaxiální konstrukce

Koaxiální postavení se vyznačuje použitím dvou protiběžných rotorů nad sebou na jednom rameni, potažmo má pak hexakoptéra pouze tři ramena, oktokoptéra čtyři atd. Výhodou je snížení hmotnosti z důvodu menšího počtu ramen a možnost nasazení větších vrtulí při zachování stejné velikosti stroje. Nevýhodou je horší účinnost spodních rotorů, jelikož se nacházejí v oblasti turbulentního vzduchu, který vzniká pod horním rotorem



Obrázek 13 - Koaxiální hexakoptéra [2]

3.2 Využití a vlastnosti multikoptér

Multikoptéry disponují především svoji eventuální volbou různého počtu vrtulí s motory. Díky této možnosti se stávají flexibilnější na trhu individuálního využití. Let s multikoptérou je pohodlnější, přistání velmi přesné a nevyžaduje tak náročný trénink. Ve spojení se specifickými senzory jsou schopny zastávat řadu funkcí.

Kupříkladu přenos videa a fotografií je oproti ostatním prostředkům ve vysokém rozlišení i na velkou vzdálenost, proto došlo k nárustu využívání v oblasti pro profesionální práci fotografů či filmařů.

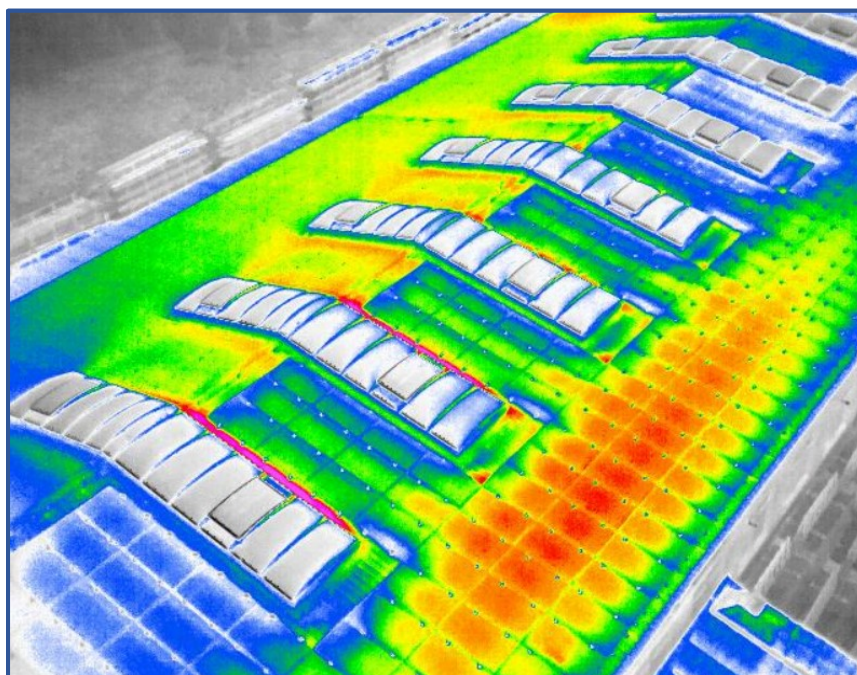
Mezi další uživatelskou přízeň patří mobilita a ovládání. Pochytit pilotování komerčního dronu je o mnoho snazší než naučit se pilotovat letadlo. Tyhle výhody sebou přináší i možnost využívání v některých druzích interiérů.

Můžeme je využít také ve vojenství nebo třeba během ochrany přírody, kdy získáváme možnost sledování prosperity některých chráněných druhů či živočichů. Na základě tohoto mapování lze vytvářet foto mapy, a tak sledovat vývoj v chráněných územích či národních parcích.

Nespornou výhodou představují multikoptéry při odběru vzorků ovzduší, kdy je možno sledovat a následně analyzovat kvalitu ovzduší v jednotlivých výškách a sférách. V budoucnosti můžeme očekávat využití multikoptér také v logistice a zásobování.

V energetickém průmyslu můžeme ku příkladu sledovat solární nebo fotovoltaické elektrárny. Díky termokamerám můžeme okamžitě objevit závadu na solárních nebo fotovoltaických panelech,

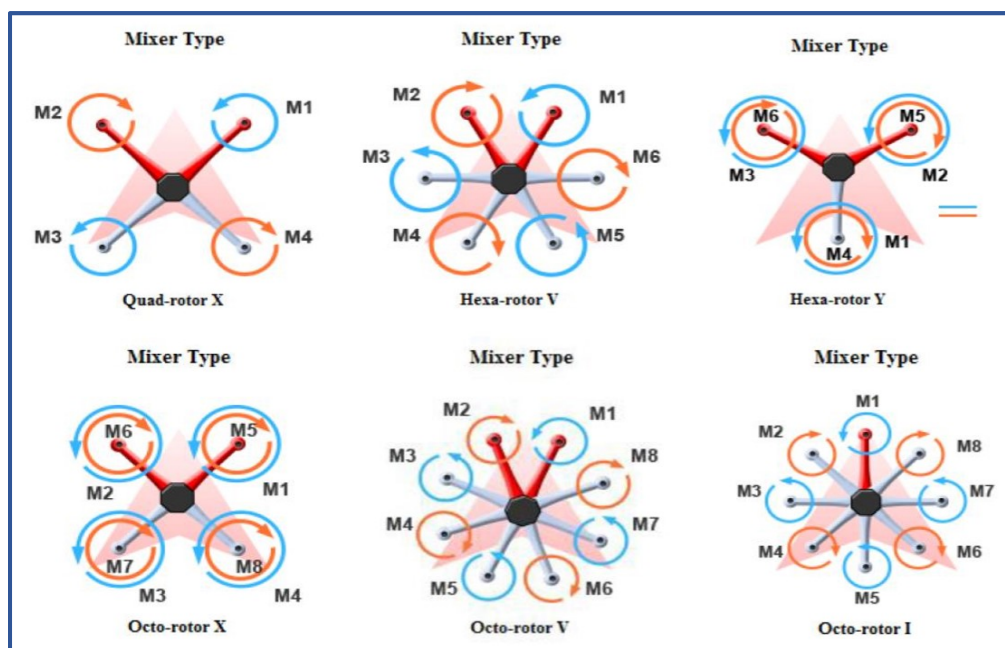
přechodový odpor na izolátorech vedení vysokého napětí, poruchy produktovodů a další poruchy infrastruktury [23] [6] [7].



Obrázek 14 - Kontrola fotovoltaických elektráren termovizní kamerou [32]

Zajisté i multikoptéry mají své nevýhody i když s vývojem nových technologií roste úsilí tyto nevýhody eliminovat. Mezi podstatné nevýhody, jako jsou dolet čas letu a nosnost, které jsem již nastínila v úvodu kapitoly, patří i nejednotná legislativa. Každý stát má svá vlastní pravidla provozu bezpilotních prostředků. O legislativě více v kapitole 3.5.

Vykazují pevnou konstrukci rotoru bez naklápěcích listů. Požadovaného náklonu prostředku se pak dosahuje pouze změnou otáček rotorů na protilehlých stranách zařízení. Díky tomuhle řešení se také značně zjednoduší konstrukce rotorové hlavy a zvýšíme tím její spolehlivost. Drtivá většina zařízení má sudý počet rotorů, čímž se vyřeší problém točivého momentu každého rotoru. V případě, že se polovina z nich otáčí jedním směrem a druhá polovina směrem opačným, se výsledný točivý moment vyváží a není potřeba jej kompenzovat. [1] [2] [4]



Obrázek 15 - Základní konfigurace motorů a smysl rotace vrtulí [6]

Multikoptéry se převážně kategorizují podle počtu rotorů. Obecně platí, že čím více rotorů má přístroj k dispozici, tím se stává výkonnější a můžeme tak využít například delší časový interval doby letu, zvýšení maximální rychlosti, navýšení hmotnosti přidaného zařízení nebo výhodnější stability a tím dosáhnout větší bezpečnosti v případě selhání jednoho z rotorů. Dále pak závisí na způsobu rozpoložení ramen individuálních multikoptér. Každý typ sebou nese určité výhody a nevýhody a odlišné letové vlastnosti.

Můžeme je tedy rozdělit na:

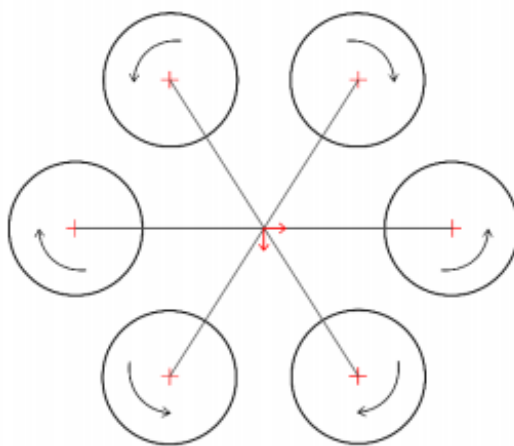
- Trikoptéry (3 ramena)
- kvadrokoptéry (4 ramena)
- hexakoptéry (6 ramen)
- oktokoptéry (8 ramen)

Existují však multikoptéry i například se 2 vrtulemi, avšak u těchto typů hrozí vyšší nebezpečí v případě vysazení jedné z pohonných jednotek. V takovém případě multikoptéru nelze ovládat a stává se velmi nebezpečnou. [1] [6] [7]

Příčné klopení umožňuje u trikoptér velmi dobrou obratnost. Převážně se zde však můžeme setkat s koaxiální konstrukcí rotorů, kde točivý moment vyrovnává další řada rotorů obrácená směrem dolů, otáčející se opačným směrem. [8]

3.3 Hexakoptéry

Hexakoptéry jsou cenově o něco nákladnější, avšak disponují lepšími vlastnostmi než kvadrokoptery. Díky dobré nosnosti lze na ně upevnit i těžší komponenty. Jejich konstrukce je tvořena šesti rameny společně se šesti rotory. Polovina rotorů je vždy pravotočivá a druhá polovina levotočivá. Díky redundantním motorům jsou hexakoptéry schopny při závadě bezpečně přistát. [3]



Obrázek 16 – Hexakoptéra [6]

3.4 Základní komponenty multikoptér

Mozek celé multikoptéry tvoří řídicí jednotka. Pomocí senzorů provádí výpočet a kontrolu úhlů náklonu. Dále také výpočet napětí pro motory, odesílání signálů pro regulátory a mnoho dalších funkcí, jako např. ukazatel kapacity baterie či reakce na ztrátu signálu z vysílačky. [9], [23]

Dalším hlavním komponentem je motor, který multikoptéru pohání. Mezi nejdůležitější parametry motorů patří otáčky za minutu neboli rpm a napětí, které je často udávané v kV nebo rpm/V.

Regulátory multikoptér slouží k vyhodnocení přijímaného signálu z řídicí jednotky. Poté přemění napětí do třífázového střídavého signálu pomocí FET tranzistorů. V případě, že dochází k potřebě vyšších otáček, lze toho dosáhnout zvětšením frekvence a amplitudy napětí. Každý střídavý regulátor musí obsahovat kondenzátor.

Dalším nezbytným komponentem multikoptéry je její rám. Ten je vyráběn ve dvou variantách. Ve variantě pevné, anebo rozebíratelné. Ani jedna z variant nemá vliv na letové vlastnosti, jedná se pouze o skladovací vlastnosti. Rám je nejčastěji vyráběn z uhlíku, leteckého duralu, plastu, hliníku

či karbonu. Tyto materiály jsou zvoleny především díky jejich nízké hmotnosti, což značně ovlivňuje dobu letu. [6] [7] [9] [10] [23]

3.5 Legislativa a nařízení pro užívání bezpilotní letounů

Doplňek X – současně platné předpisy na území ČR – nejdůležitější části [41] [42] [43]:

Předpisy spojené s provozem, registrací, požadavky na bezpilotní letouny, jejich rozdělení a podobné jsou řízené tzv. **Doplňkem X – Bepilotní systémy**, platný na území České republiky. Tento doplněk spadá pod ÚCL – *Úřad pro civilní letectví*, který také dohlíží na jeho dodržování, zároveň také zajišťuje profesionální licence. Momentálně se jedná o základní zákon v této oblasti, ale připravuje se změna v rámci nové jednotné evropské legislativy pro bezpilotní letoun, která má vstoupit v platnost nejdříve v rámci druhé poloviny roku 2020. Není proto zcela jisté, jaké podmínky budou náležet v rámci integrovaného záchranného systému, pod který spadá také horská záchranná služba. Dle prozatimního Doplnku X jsou bezpilotní letouny rozděleny dle maximální vzletové hmotnosti a záměru pilotů.

Kategorie pilotů

- Hobby piloti – využívají bezpilotní letouny rekreačně
- Profesionální piloti – využívají bezpilotní letouny pro komerční účely, či pro výkon povolání

Kategorie bezpilotní letounů dle maximální vzletové hmotnosti

- $\leq 0,91$ kg
- $0,91 \text{ kg} < X < 7 \text{ kg}$
- $7 \text{ kg} \leq X < 25 \text{ kg}$
- $< 25 \text{ kg}$

Poznámka: Důležité pravidlo týkající se letounu vážícího více než 0,91 kg nutnost vybavení *Fail-safe systémem*. Tento systém zajišťuje automatické bezpečné dokončení letu v případě poruchy, vybití baterie, ztráty spojení apod.

Bezpečnost

Let bezpilotního letadla smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. [6]

Dohled pilota

Pokud není uvedeno jinak, nebo v případě výjimky vydané ÚCL, musí být bezpilotní letadlo provozováno tak, aby zůstalo v přímém dohledu pilota. A to takovým způsobem a do takové vzdálenosti, aby byl pilot schopen udržovat trvalý vizuální kontakt s letadlem i bez vizuálních pomůcek.

V případě využití systému FPV – *First Person View* je dle výkladu stávajícího zákona stále nutné dodržovat neustálý oční kontakt, ale nabízí účast druhé osoby. Jedna zajišťuje provoz a samotné pilotování bezpilotního letounu a druhá neustálý dohled nad zařízením. [6]

Ochranná pásma

Lety s bezpilotními letadly se nesmí provádět v ochranných pásmech stanovených příslušnými právními předpisy, které se nacházejí: [6]

- Podél nadzemních dopravních staveb
- Tras nadzemních inženýrských sítí
- Tras nadzemních telekomunikačních sítí
- Uvnitř zvláště chráněných území
- Národních parků
- V okolí vodních zdrojů
- V okolí objektů důležitých pro obranu státu

V případě zájmu letu v těchto oblastech je nutné vlastnit souhlas od ÚCL a speciální povolení příslušného správního orgánu či oprávněné osoby pro danou oblast. Nad těmito ochrannými pásmy, může být let prováděn pouze a jedině způsobem, který vylučuje jejich narušení za běžných i mimořádných okolností. [6]

Horská služba a Doplněk X [44]:

Integrovaný záchranný systém včetně horské služby disponuje určitými výjimkami od UCL v rámci aplikace Doplněk X a leteckých prací, bohužel však stále v nedostatečném množství. Pravidla pro dohled a letové vzdálenosti jsou prozatím neurčené.

Horská služba nemusí žádat o speciální povolení pro létání v rámci ochranných pásem národních parků, jelikož zavedením dronů do výbavy horské služby disponuje také speciálním povolením pro létání v rámci zakázaných oblastí.

4 Horská služba

Názvy horská služba nebo horská záchranná služba označují záchranné organizace, které působí na území České republiky v oblastech turisticky využívaných pohoří. Horské služby (dále jen HS) mohou fungovat čistě na dobrovolnickém systému, jiné zaměstnávají profesionální pracovníky a současně využívají pomoc dobrovolníků. Zároveň obě složky spadají pod Ministerstvo pro místní rozvoj. V roce 2001 vznikl v České republice Integrovaný záchranný systém a HS se stala jeho součástí jako ostatní složka, která na vyžádání poskytuje pomoc při záchranných a likvidačních pracích. V současné době působí HS v 7 samostatných oblastech, které jsou rozděleny na okrsky. [22]

- HS Krkonoše – 11 okrsků
- HS Jeseníky – 8 okrsků
- HS Šumava – 4 okrsky
- HS Krušné hory – 8 okrsků
- HS Beskydy – 7 okrsků
- HS Jizerské hory – 5 okrsků



Obrázek 17 - Znak Horské Služby [22]

Poslání a úkoly Horské služby ČR [18]:

Mezi základní úkoly HS patří zejména organizování a provádění záchranných a pátracích akcí v nepřístupném horském terénu a poskytování první pomoci raněným včetně jejich případného transportu. HS také vytváří bezpečné podmínky pro návštěvníky horských oblastí, toto provádí na

záchranných a ohlašovacích stanicích. Jelikož se starají i o výstražné a informační zařízení, zajišťují tedy jejich provoz a údržbu.

Mezi jejich činnosti také patří prevence – rozšíření preventivně bezpečnostních materiálů a informace veřejnosti o sněhových a povětrnostních podmínkách na horách. S orgány veřejné správy, ochránci přírody a životního prostředí také spolupracují na vytváření podmínek návštěv hor a horských oblastí. HS také vytváří a vydává podrobnou statistiku úrazovosti a provádí rozbor příčin úrazů, zároveň navrhuje opatření ke snížení těchto negativních důsledků návštěv.

V samotném terénu se členové HS věnují monitoringu lavinové situace, provádí hlídkovou činnost na hřebenech a sjezdovkách a drží pohotovostní službu na svých základnách.

4.1 Záchranářské vybavení

Aby horská služba mohla plnit svou funkci správně a efektivně potřebuje odpovídající a občas neobvyklé vybavení určené do extrémních podmínek. Na základě toho využívá různorodé vybavení. Jedná se o zdravotnické, svozné a transportní, motorové a jiné prostředky.

Mezi základní zdravotnické vybavení patří:

- Imobilizační a fixační pomůcky
 - Dlahy
 - Vakuové matrace
 - Krční límce
 - Pánevní pásy
- Plně vybavené zdravotnické batohy
- Univerzální lékárničky
- Automatizovaný externí defibrilátor

Následně se do vybavení horské služby řadí speciální oblečení pro členy, vybavení na skialpy a lyžařské vybavení, signalizační, komunikační, lokalizační a osvětlovací prostředky. Neoddělitelnou součástí je kompletní horolezecké vybavení a digitální radiostanice. Dále zde spadá také mobilní aplikace horské služby pro širokou veřejnost. [22]

4.2 Dron jako součást výbavy horské služby

Horská služba začala od roku 2016 aktivně využívat speciální bezpilotní systémy přizpůsobené pro jejich potřeby a extrémní podmínky. První dron byl pořízen pro horskou službu Krkonoše. Jednalo se o český bezpilotní letoun značky Robodrone Kingfisher. V následujících letech se flotila bezpilotních letounů rozšiřovala. Současně drony pro celou horskou službu jsou umístěny na základně horské služby v Krkonoších. Za základě vyžádání je možné využít drony v jakémkoliv pohoří České republiky. Také vyžádání ostatních složek integrovaného záchranného systému mohou pomoci například při pátracích akcích mimo pohoří. [19]

Drony v rámci horské služby slouží k bezpečné a rychlé detekci laviny nebo k hledání a lokalizování pohřešovaných osob. Některé drony obsahují také nadstandartní termokamery, které ještě více zvyšují účinnost při zásazích. Některé drony jsou vybaveny také megafonem, který slouží ke komunikaci s obětí. S letounem jsou členové horské služby schopni zkontrolovat kritické místo z bezpečného místa. V případě zavalení člověka lavinou mají díky dronu možnost rychleji lokalizovat místo nehody. Zároveň díky tomuto postupu se zkrátí čas v kritické zóně, kde stále hrozí nebezpečí v podobě sekundární laviny. V neposlední řadě také drony nahrazují vrtulníky, jež jsou mnohonásobně nákladnější, zároveň zvyšují šance nebezpečí pro záchranáře v podobě dalšího pádu laviny a omezují práci záchranářů na zemi. [21]

Současně horská služba využívá přístroje od české firmy Air-sec. Tyto drony disponují speciálním systémem pro detekci lavin. Tento systém funguje tak, že dron prohledávající oblast po vrstevnicích a následně akusticky předává informaci o přiblížení se dronu k vysílajícímu lavinovému pípáku. Operátor dronu využívá k prohledávání oblasti video brýle, které promítají obraz snímáný kamerou dronu. Operátor následně identifikuje a analyzuje místo nehody. [20]

5 Praktická část

5.1 Cíle práce:

Hlavní myšlenku v návrhu záchranářského zařízení jsem viděla ve snaze zlepšit vlastnosti dronu se zachováním potencionálních schopností a jeho funkcí.

- 1) První idea, která mě oslovila při pohledu na model Kingfisher, byla jeho robustná konstrukce. Má představa tedy byla, zdali bych byla schopná zmenšit velikost rámu a současně zachovat jeho letové schopnosti. Konkrétně pak využít prostoru, který se nachází mezi tělem a vrtulemi, a to nejlépe v jeden kompaktní celek. Výhod, který by tento proces obnášel je hned několik:
 - Lepší aerodynamika proudícího vzduchu
 - Využití prostoru
 - Lepší stabilita sestavy
- 2) Jako další přínos jsem shledala možnost jednoduchého skládání dronu za účelem mobilního přenosu zařízení. Již zmíněný model Kingfisher v předešlé části se dopravuje na místo pomocí sněžného skútru/čtyřkolky ve specificky zařízeném boxu, který pro svůj transport vyžaduje poměrně rozsáhlý prostor.



Obrázek 18 - Dron HS transportován čtyřkolkou [33]

Ne vždy se však záchranář dostane na místo pomocí motorového vozidla. V případech jako jsou kamenité terény, strmé svahy nebo v obzvláště v horských oblastech krajina zarostlá hustými keři a zakrslými stromy, se musí záchranář na místo dostavit pomocí vlastních sil. V téhle situaci tak může záchranář dopravit dron na určité místo s využitím speciálního batohu a bez prostřednictví jakékoli další techniky.

3) Mezi další rozvoj uživatelského rozhraní jsem chtěla zařadit i uživatelsky komfortní integrovaný box se záchranářským materiálem pro pohřešované a zraněné osoby. Bude obsahovat lékárničku, termo přikrývku, potraviny a další drobné pomůcky, které vyčerpaní turisté zajistí ocenění při čekání na příchod záchranářů.

Letoun Kingfisher touto možností s největší pravděpodobností disponuje, nicméně nepodařilo se mi zjistit, ať už z článku nebo pečlivým průzkumem jednotlivých obrázků, kde se na modelu nachází tento úložný prostor. Pakliže je tento balíček řešen jako závěsné vybavení i tento způsob sebou nese jisté nevýhody, jako například vyosení těžiště dronu při maximální výchylce kývavého balíčku, což má za následek nerovnoměrnou zátěž jednotlivých motorů pro vyrovnaní stability letounu. Další překážkou může být již využitý prostor pod dronem, kde se nachází například barometr, ultrazvukový a optický modul nebo by balíček mohl omezit výhled kamery. Závěrem nutno podotknout, že cokoli může z dronu během letu upadnout představuje značné riziko a ohrožení bezpečnosti osob na zemi.

Z těchto důvodů bych chtěla navrhnout umístění záchranného boxu na horní část těla dronu se snahou optimálního rozložení těžiště boxu nad centrálním těžištěm celého letounu.

Z hlediska uživatele bych tak chtěla docílit zřetelné detekci a jednoduché manipulace tohoto boxu zraněným, jenž bývá mnohdy vystavený stresovému jednání.

4) Po konzultaci s členy horské služby byla vytvořena další představa využití dronu při záchranné akci, a to konkrétně při transportu osob z lanovek při jejich poruše. Jednalo by se o transport lezeckého lana dronem přes ocelové lano lanovky a tím pádem vytvoření rychlého kotevního bodu pro jistící lano záchranné skupiny, která uskuteční výstup už po zafixovaném laně.

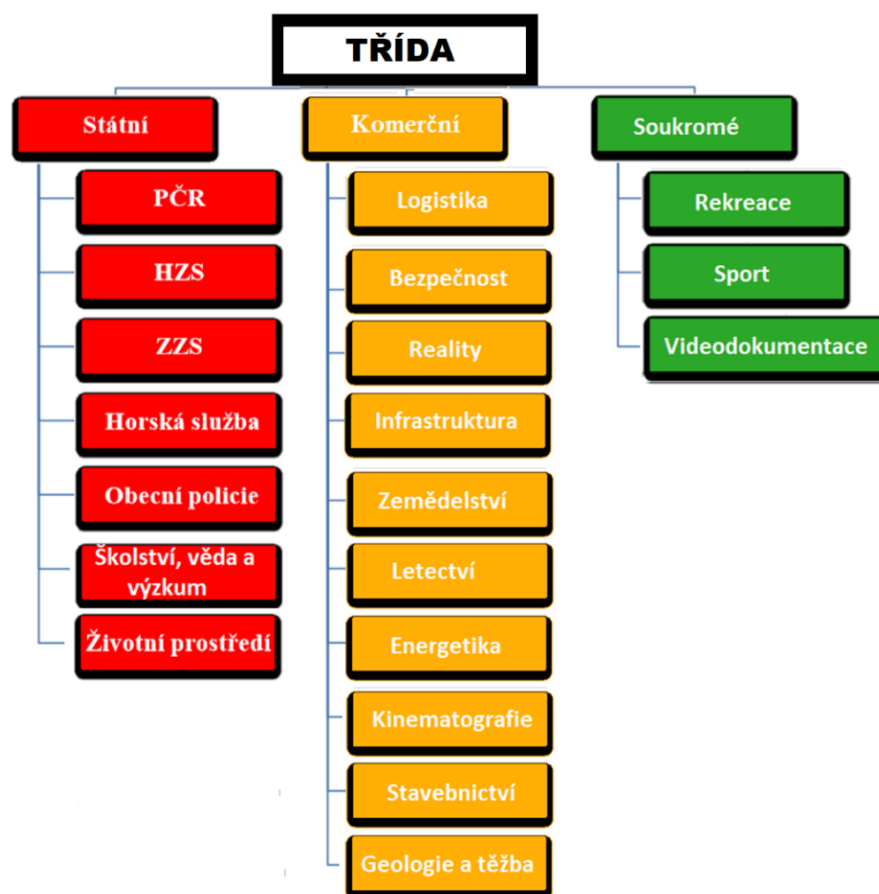
Jinými slovy standartní postup je velmi zdoluhavý. Lezec musí nejprve vylézt na nejbližší stožár lanovky a pomocí jištění slanit po ocelovém laně ke kabině, zajistit se, odvázat si jistící lano, přehodit konec tohoto lezeckého lana přes ocelové lano lanovky a teprve poté vytvořit pevný kotevní bod. Hovoříme zde o řádu desítek minut, a především o vystavení záchranáře nebezpečné aktivitě. S pomocí dronu by se akce značně urychlila a vezme-li v potaz kapacitu kabin lanovky, při níž se u každé ušetří desítky minut, můžeme ve výsledku mluvit o významné úspoře času v intervalu několika hodin, což jistě ocení i zachraňované osoby.

5.2 Vývoj konceptu dronu:

Docílit záměru vytvoření prostředku schopného létat ve značně ztížených podmínkách se zajištěním co nejvyšší možné spolehlivosti, funkčnosti a způsobilosti provozu, je věc nelehká a proces takového návrhu se jednoznačně liší od složitosti vývoje většiny ostatních dronů.

Prvním krokem při vývoji dronu je nesporně souhrn údajů, jakých vlastností by měl náš budoucí prostředek dosáhnout. Je potřeba si dopředu rozhodnout tyto údaje:

- Cílová skupina



Obrázek 19 – Roztřídění využití dronu

Od třídy využití se dále odvíjí přesný účel použití ke konkrétním výstupům, jako jsou:

- Výstupy dronu
 - a) S důrazem na stabilitu - profesionální focení/natáčení, letecké inspekce, využití speciálních senzorů
 - b) S důrazem na délku letu – mapování, letecké inspekce
 - c) S důrazem na rychlost – zábava, akrobacie, závodní létání, art
 - d) S důrazem na nosnost, velikost – zásilky, záchranářské potřeby, přeprava osob

- Požadavky na techniku
 - a) jak často dron bude létat
 - b) kde bude létat (nadmořská výška, prostor pro pohyb)
 - c) v jakých klimatických podmínkách (teplota, vítr, sníh)
 - d) předpoklad výdrže výrobku
- Cenová dostupnost

Pro navržení optimálního modelu my sloužilo hned několik inspirací, ať už z hlediska technických parametrů nebo designového provedení.

Po ucelení mých požadavků na dron a sjednocení příslušných funkčních vlastností mi jako první vodítko v návrhu sloužila inspirace u již existujícího profesionálního dronu „Kingfisher“ od firmy Robodrone, využívaného stanicí Horské služby Krkonoše. Provedla jsem rozbor aplikovaných vlastností zařízení a sním i jisté porovnání velikostí jednotlivých částí.

Bohužel se mi nepodařilo spojit se s pilotem záchranného dronu Horské služby ve věci možné kooperace na vývoji těchto letounů. Potřebného popisu technických parametrů, vlastností a dosavadních funkcí tedy nebylo dosaženo a pro inspiraci i mi tak sloužily jen značně omezené informace dosažené z různých webových portálů a médií.



Obrázek 20 - Dron Robodrone Kingfiher [13]



Obrázek 21 - Dron Robodrone Kingfisher [13]

Na základě videí jsem hrubě odhadla směrodatné rozměry, jakými jsou např.: velikost těla dronu, délka ramen a průměr vrtulí. (Finální rozměry pak uvádím v **Příloze B – Technická dokumentace**)

V další části jsem využila dispozice online kalkulačky „*xcopterCalc*“ (kalkulačka pro multikoptéry). Tyhle výpočty slouží pro hrubý odhad návrhu celkové hmotnosti dronu velikosti rámu, doby letu včetně jednotlivých režimů a maximální rychlosti.

Dále disponuje možností optimálního výběru z širokého rozsahu hlavních pohonných jednotek, jakými jsou:

- typ akumulátoru a jeho konfigurace článků
- typ regulátoru
- typ akumulátoru, jeho počet otáček a možnosti chlazení
- typ vrtule a její parametry.

Obecné Hmotnost modelu: 10000 g Včetně pohonu 352.3 oz		Počet rotorů: 6 jediný		Velikost rámu: 1000 mm 39.37 inch		Max. naklonění: Neomezené naklonění		Nadmořská výška letiště: 1600 m n.m. 5249 ft n.m.		Teplota vzduchu: -10 °C 14 °F		Tlak (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg			
Akumulátor Typ (trvale/max. C) - stav nabí: LiPo 10000mAh - 45-60C plně		Konfigurace: 2 S 12 P		Kapacita článků: 10000 mAh 120000 Celkem mAh		Stupeň max. vybití: 85%		Vnitřní odpor: 0.0013 Ohm		Napětí: 3.7 V		Proud výkon C: 45 C trvalý 60 C max		Hmotnost: 281 g 9.2 oz	
Regulátor Typ: Master MEZON 135 opto RPM		Proud: 135 A trvalý 202 A max		Odpor: 0.00028 Ohm		Hmotnost: 145 g 5.1 oz		Příslušenství		Proud pro příslušenství: 10 A		Hmotnost: 2500 g 88.2 oz			
Motor Výrobce - Typ (KV) - chlazení: Hyperion - Gs3020-06 (1440) vybore		KV (bez zatížení): 1440 ot/V asistent pro KV a vrtuli		Proud naprázdno: 3.1 A @ 10 V		Limit (do 15s): 110 A		Odpor: 0.01 Ohm		Délka tělesa: 52.5 mm 2.07 inch		počet mag. pólů: 14		Hmotnost: 176 g 6.2 oz	
Vrtule Typ - natočení listu v náboji: Aeronaut CamCarbon - -2.5°		Průměr: 10 inch 254 mm		Stoupání: 6 inch 152.4 mm		Počet listů: 2		PKonst/TKonst: 1.07 / 0.99		Převodový poměr: 0.8 : 1		vypočítat			

Zatížení: 5.1

Doba letu ve visu: 26.5

Proud: 103

Odhad teploty: 6

Tah-hmotnost: 1.9

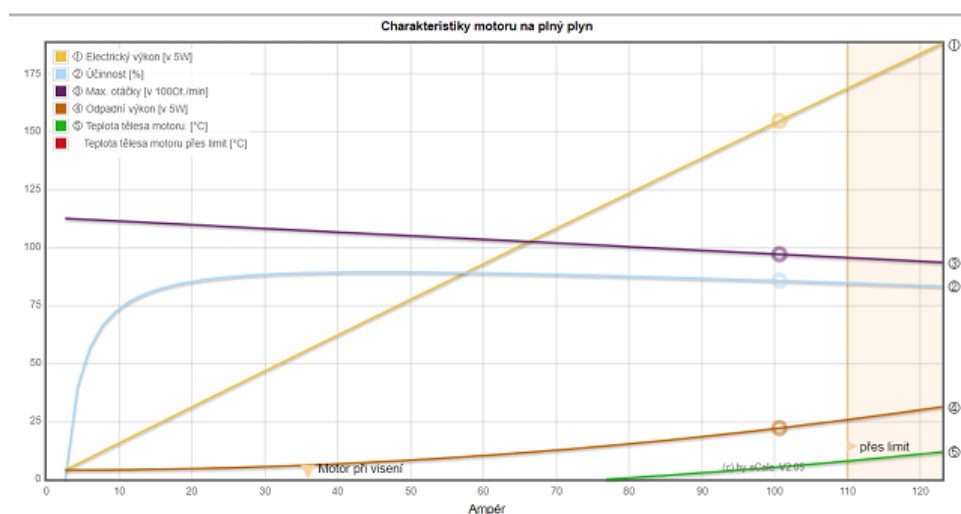
Specifický tah: 5.30

Konfigurace

Poznámky: Akumulátor Zatížení: 5.42 C Napětí: 7.70 V Jmenovité napětí: 7.40 V Energie: 888 Wh Celková kapacita: 120000 mAh Využitá kapacita: 102000 mAh Min. doba letu: 12.4 min Kombinovaná doba letu: 24.2 min Doba letu ve visu: 26.3 min Hmotnost: 6264 g 221 oz		Motor při optimální účinnosti Proud: 44.67 A Napětí: 7.77 V Otáčky*: 10567 ot/min Příkon: 349.6 W Mech. výkon: 312.6 W Účinnost: 89.4 %		Motor při max. výkonu Proud: 108.28 A Napětí: 7.67 V Otáčky*: 9560 ot/min Příkon: 830.8 W Mech. výkon: 705.7 W Výkon-hmotnost: 524.7 W/kg 238 W/lb Účinnost: 84.9 % Odhad teploty: 7 °C 45 °F		Motor při visení Proud: 38.56 A Napětí: 7.78 V Otáčky*: 6091 ot/min Plyn (log): 47 % Plyn (lineární): 62 % Příkon: 300.1 W Mech. výkon: 255.4 W Výkon-hmotnost: 191.0 W/kg 86.6 W/lb Účinnost: 85.1 % Odhad teploty: -4 °C 25 °F Specifický tah: 5.28 g/W 0.19 oz/W		Celý pohon Hmotnost pohonu: 9009 g 317.8 oz Tah-hmotnost: 2.0 : 1 Proud při visení: 231.38 A P(in) při visení: 1814.9 W P(out) při visení: 1532.6 W Účinnost při visení: 84.4 % Proud max: 649.71 A P(in) max: 5096.3 W P(out) max: 4234.3 W Účinnost max: 83.1 %		Multicopter Letová hmotnost: 12500 g 440.9 oz Hmotnost přidaného zatížení: 2914 g 102.8 oz Max. klopení: 36 ° Max. rychlost: 53 km/h 32.9 mph odhadovaný rozsah: - m - mile Odhad stoupavosti: 5.2 m/s 1024 ft/min Celková plocha disků vrtulí: 30.40 dm² 471.2 in² Porucha rotoru:	
--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

Obrázek 22 - Hodnoty vlastností dronu vygenerované online kalkulací „xcopterCalc“ [34]

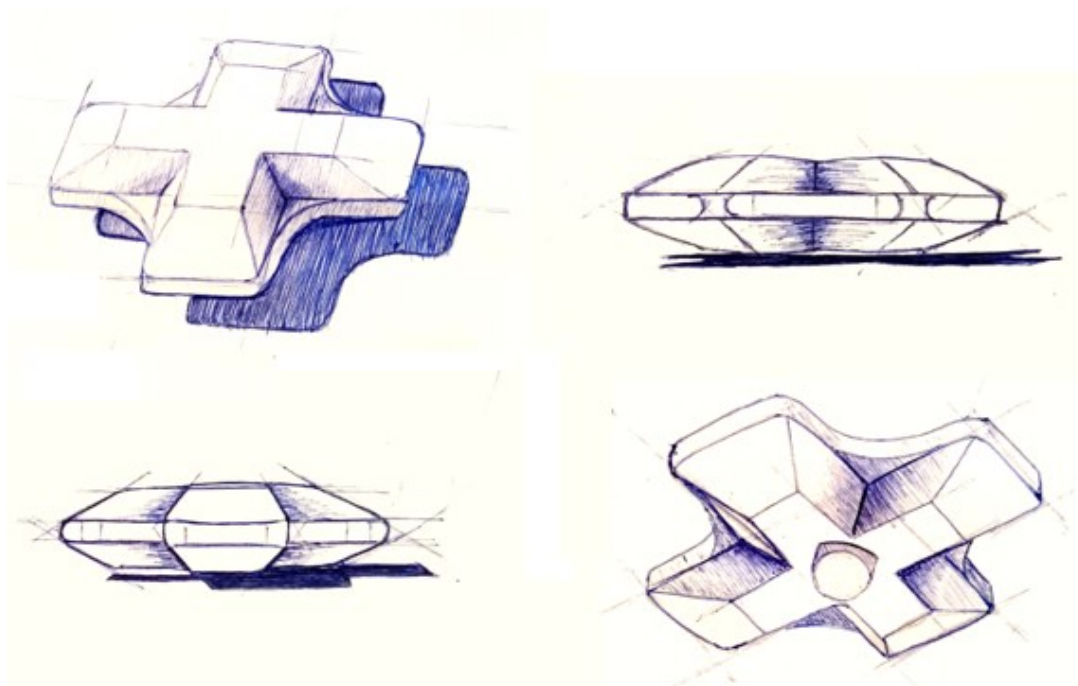
V neposlední řadě udává detailní technická data akumulátoru a motoru v jednotlivých provozech včetně grafického znázornění optimální letové rychlosti a charakteristik motoru.



Obrázek 23 - Charakteristika motoru při plném plynu [34]

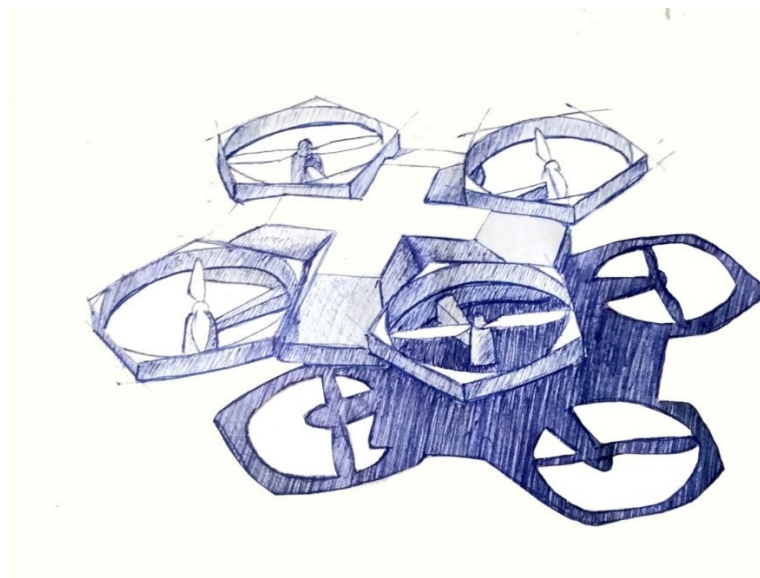
5.2.1 Varianta č. 1

Inspirací pro kompozici prvního návrhu mi byl tvar červeného kříže, jenž je zároveň symbolem záchranných integrovaných složek.



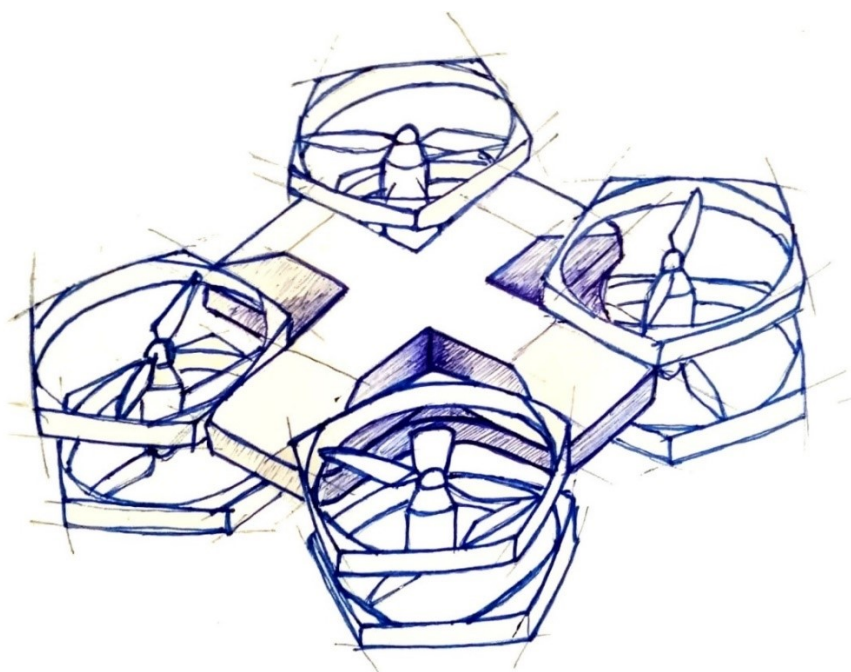
Obrázek 24 - Náhled skic pro variantu 1

Návrh je středově souměrný se snahou vyrovnat zatížení na každém rotoru stejně. Ramena kvadrokoptéry jsou napojena na centrální desku, která se nachází uprostřed těla dronu. Kryty vrtulí ve tvaru pětiúhelníku jsou připevněny k jeho stěnám s možností demontáže při údržbě. Baterie je rozmístěna ve spodní části těla díky možnosti optimálního rozložení jednotlivých článků. Podvozek tvoří čtyři nohy. Kamera a další požadované vybavení je umístěno v dolní části kvadrokoptéry. Místo pro záchranný materiál tvoří horní část těla, kterou je možné pomocí víka kopírujícího horní plochu kříže uživatelsky jednoduše otevřít. Tělo je má typickou barvu červeného kříže. Jeho boční stěny jsou vybaveny červenými LED pásy. Stěny krytu vrtulí mají LED pásy barvy modré na viditelné části pětiúhelníku.



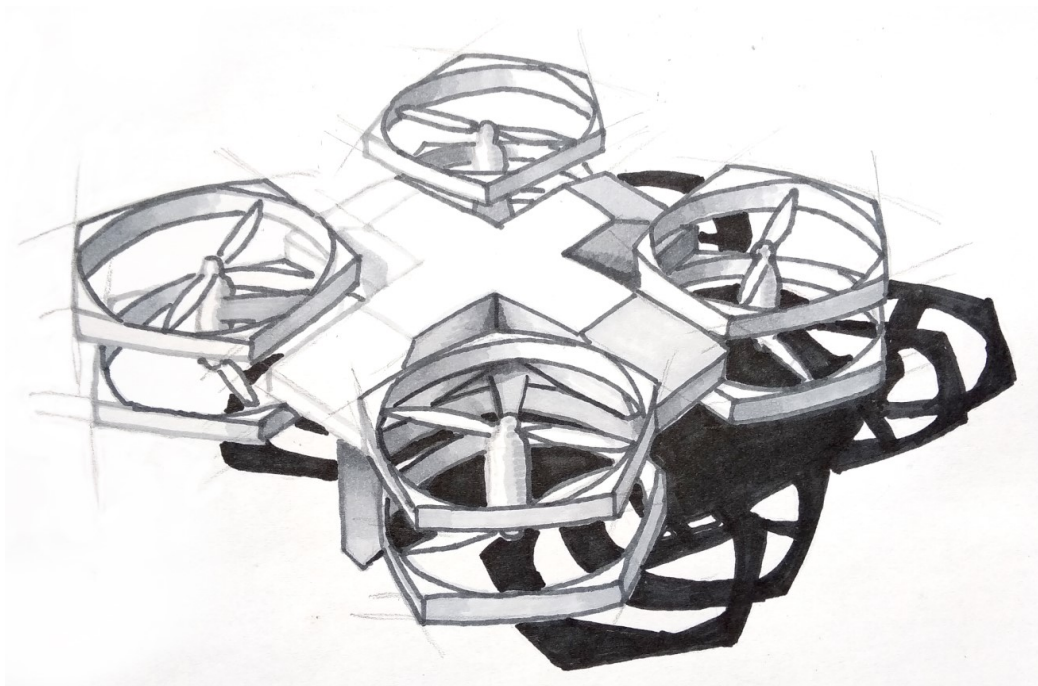
Obrázek 25 – Skica 1. varianty se čtyřmi rotory

Nevýhoda tohoto konceptu tkví v netaktním počtu rotorů. Při úvaze pouze 4 rotorů by letové vlastnosti kvadroptéry byly značně omezené. Při překonávání horských podmínek, kde vítr často přesahuje sílu 20 metrů za sekundu, což zhruba odpovídá sedmdesátikilometrové rychlosti, by kvadroptéra vykazovala patrné problémy nebo by vůbec nebyla schopna letu. Ve snaze vyrovnat letové vlastnosti horským podmínkám by letounu musely být buď zvětšeny rozměry nebo využití lepších motorů, s kterými roste i jejich proudový odběr a tím klade nárok na vyšší kapacitu článků baterie s kterými opět narůstá i hmotnost dronu.



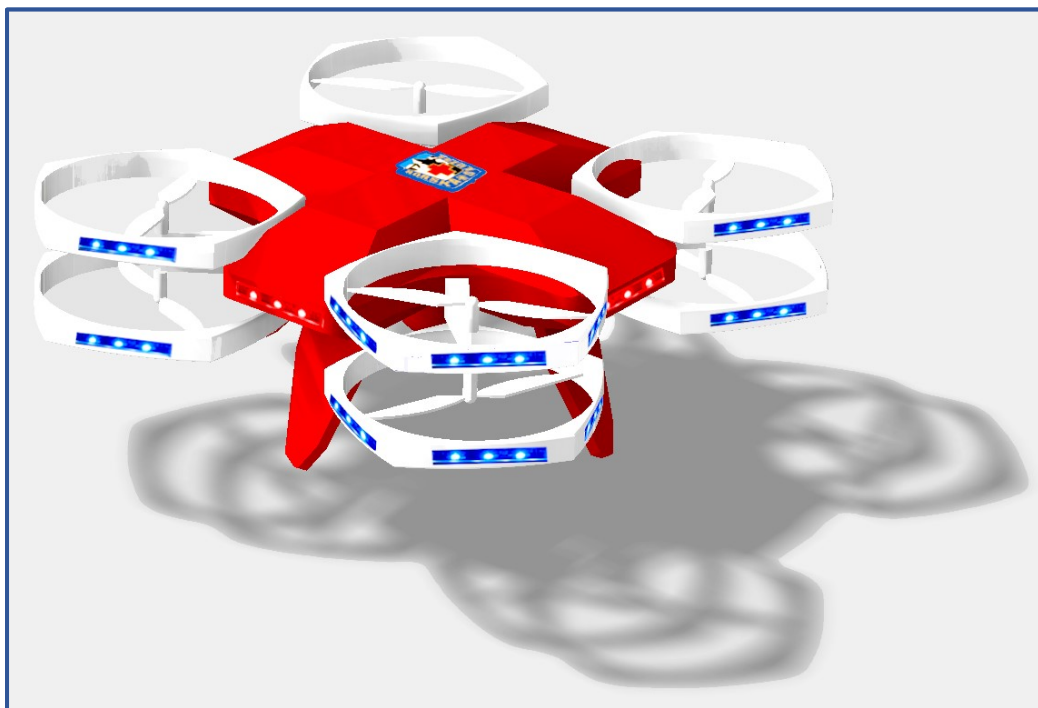
Obrázek 26 - Skica 1. varianty s osmi rotory

Při volbě 8 rotorů, potažmo oktokoptéry, by měl letoun lepší letové vlastnosti. Jistou nevýhodou zde však tvoří nutnost koaxiální konstrukce, která představuje snížení kvality letu na rozdíl od uspořádání rotorů do jedné roviny (viz kapitola 3.1).



Obrázek 27 – Tvorba skici 1. varianty využitím fix

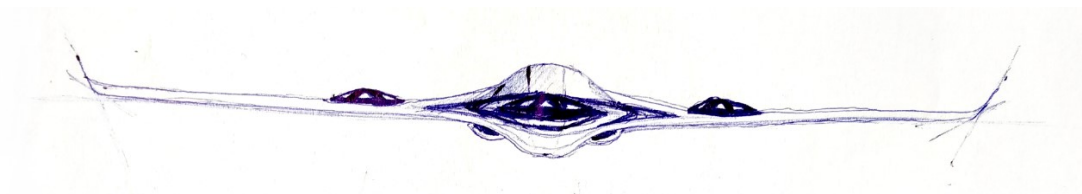
Poznámka: Obrázek 29 uvádím ve formátu A3 v **příloze A – SKICI VARIANT.**



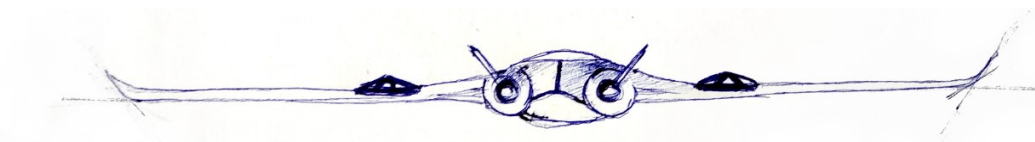
Obrázek 28 - Barevná kompozice záchranářské oktokoptéry

5.2.2 Varianta č. 2

Myšlenkou tohoto návrhu je kombinace výhod bezpilotního letounu s pevnou a rotační nosnou plochou. Koncept se takto skládá z pevného těla letounu, na jehož trup navazují křídla, která při letu vytváří stabilizační podmínky pro plachtění letadla a tím možnosti většího doletu za vynaložení nižší energie než ostatní varianty.

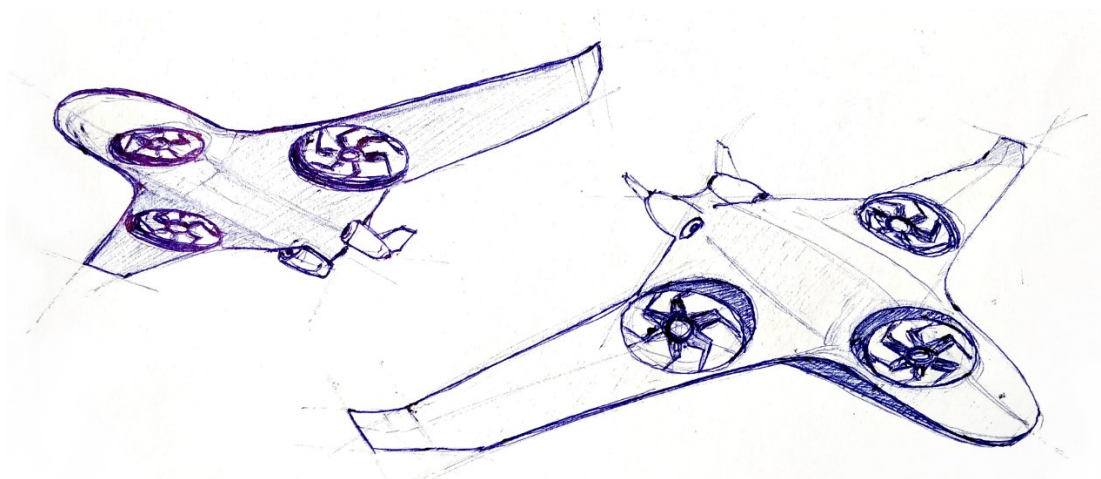


Obrázek 29 – Skica letounu 2. varianty zepředu



Obrázek 30 - Skica letounu 2. varianty zezadu

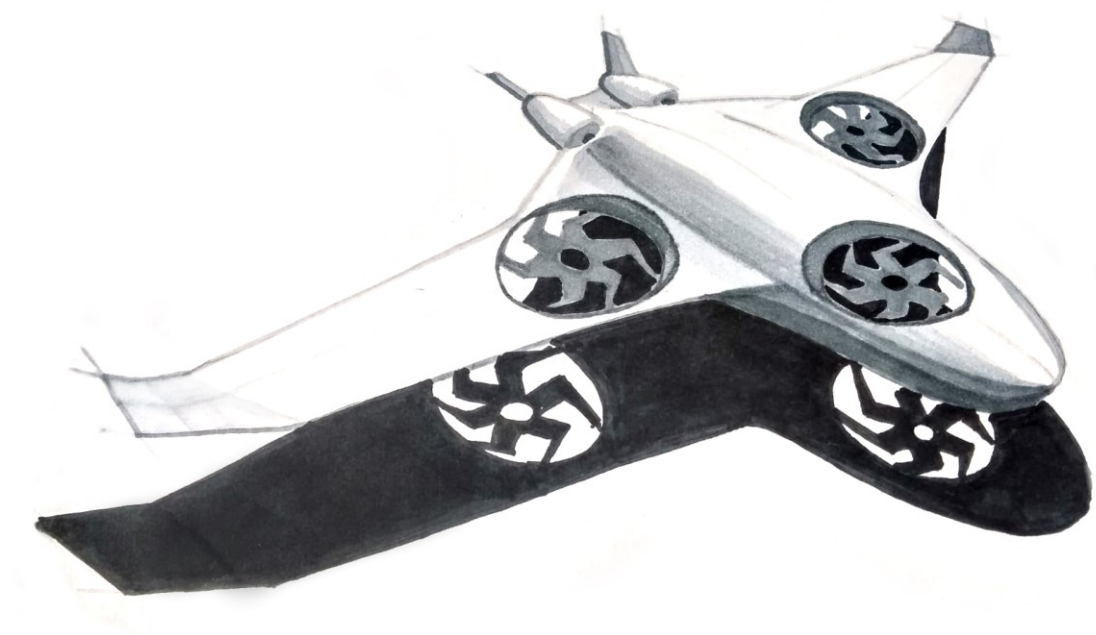
Do takto situovaného ránu je zakomponováno optimalní rozložení tří rotů, které nabízí sestavě lepší vlastnosti manipulace letounu. Pilot může oproti klasickému letounu s pevnou nosnou plochou prostřednictvím vrtulí ovládat stabilizaci letadla, jeho zakotvení ve visu či kolmého startu a přistání, což přináší výhody dosednutí takřka kdekoli.



Obrázek 31 - Rozložené jednotlivých rotorů letounu 2. varianty

Problémem tohoto konceptu jsou jisté nároky na velikost konstrukce a rozpětí křídel, která vytváří nevýhody z hlediska komfortního využití či mobilního přenosu. Mezi výhradní vlastnosti letounu patří jeho nízká hmotnost, díky čemuž má dron i patrně malou nosnost. Vzhledem k této

vlastnosti zůstává problematickým faktorem jeho ovladatelnost a použitelnost do určitého stupně povětrnostních podmínek. Při větším zatížení bychom museli uvažovat o změně zdroje pohonu.



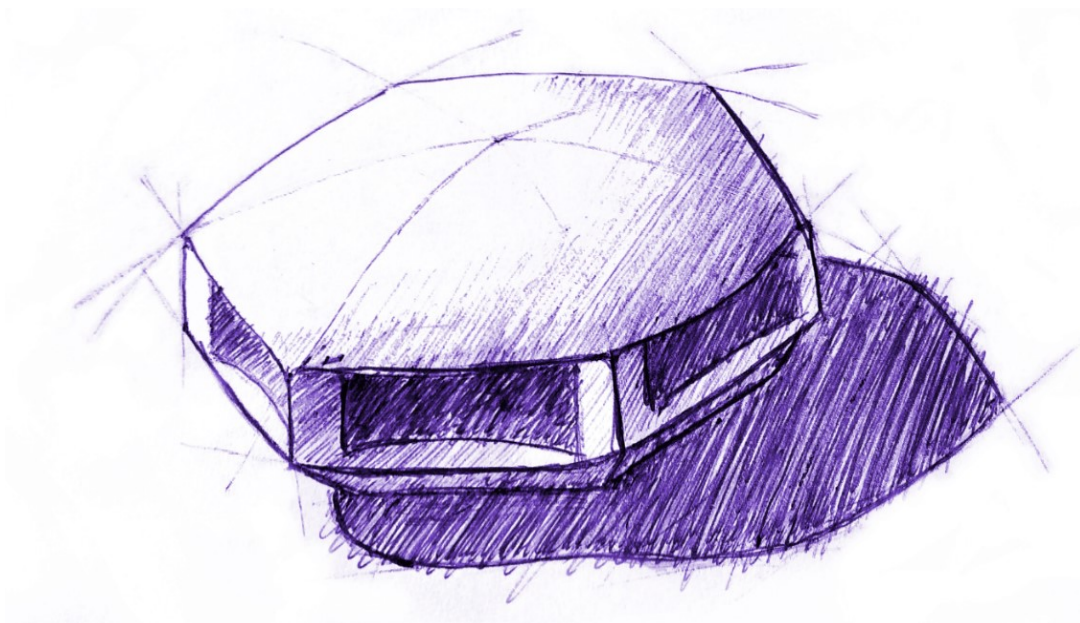
Obrázek 32 - Skica letounu 2. varianty využitím fix

Poznámka: Obrázek 34 uvádím ve formátu A3 v **příloze A – SKICI VARIANT**.

5.2.3 Varianta 3

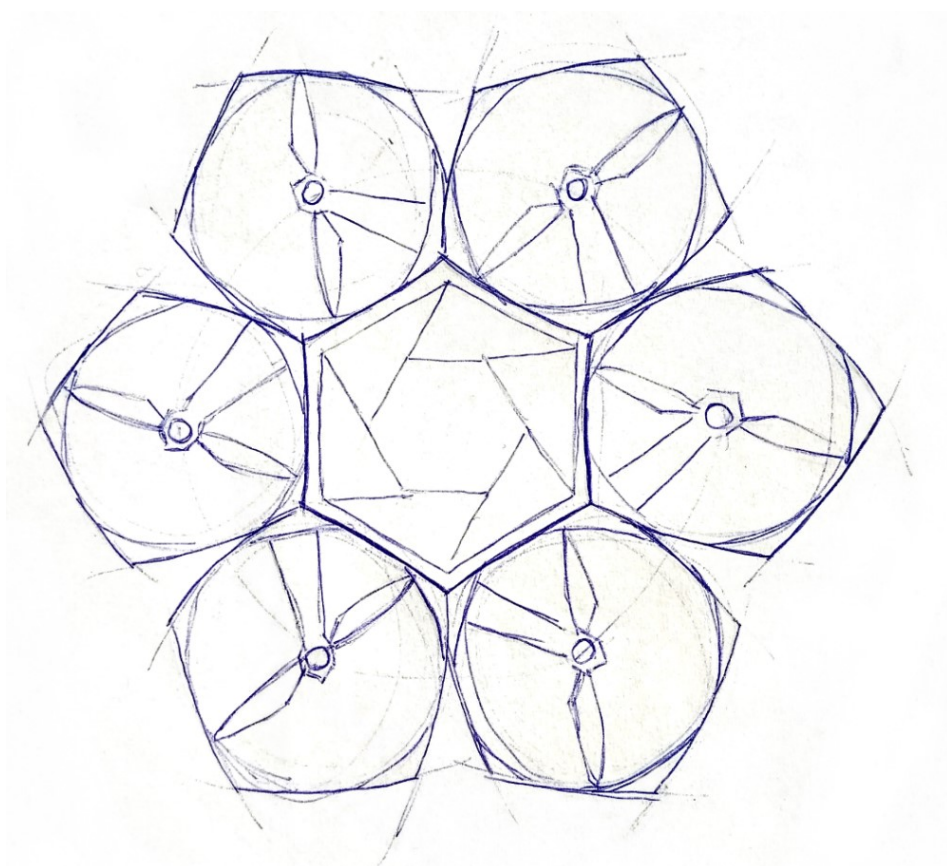
Třetí koncept a zároveň finální varianta záchranného dronu disponuje větší multifunkčností než předchozí varianty. Hlavním úmyslem návrhu byla snaha o vytvoření mobilního zařízení, které se dá jednoduše poskládat do speciálně navrženého batohu, přenést na zádech záchranáře na požadované místo a následně rychle zprovoznit k letu. Další předností návrhu je odnímatelný box sloužící k přepravě záchranného materiálu sloužící pro první pomoc zraněným osobám, jehož potenciál představuje širokou variabilitu využití přepravovaného materiálu. Letoun bude ovládán pomocí tabletu.

Původní představa byla vytvořit celek s jednoduchými křivkami jehož linie kopíruje vnitřní sestavení dronu.



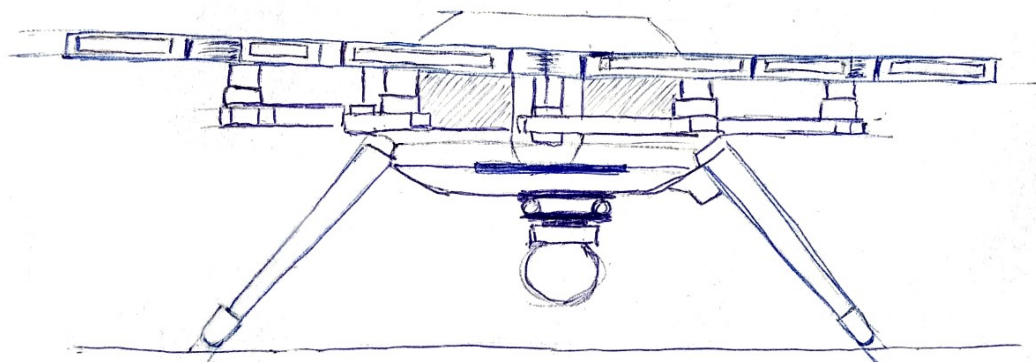
Obrázek 33 - Skica návrhu těla dronu 3. varianty

Kryty jednotlivých vrtulí představují tvar pětiúhelníku. Spolu s tělem dronu, jehož stěny vytvářejí šestiúhelník připomíná opačnou skladbu geometrických prvků fotbalového míče.



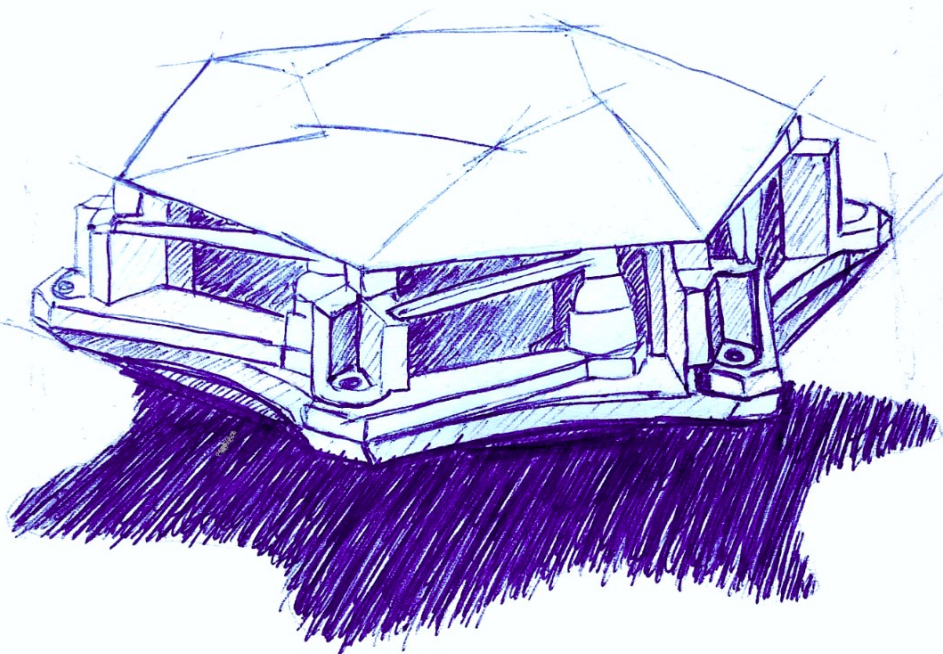
Obrázek 34 - Skica pohledu zhora 3. varianta

Vzhledem k vizi jednotného modelu, snazší údržbě a estetického vzhledu se mi však nepodařilo dle mých původních představ skloubit sled těchto náležitostí spolu se složitější konstrukcí, která vyžadovala jisté přizpůsobení tvaru jednotlivých součástí spolu s podmínkou využití co největší úspory materiálu, potažmo snížit hmotnost letounu.



Obrázek 35 - Skica profilu 3. varinty

Samotná skladba jednotlivých ramen a prostor pro umístění krytů vrtulí si žádá vytvoření různých styčných ploch, které působí negativně na vizáž dronu. Podrobněji o možnostech složení viz. kapitola 6.7.



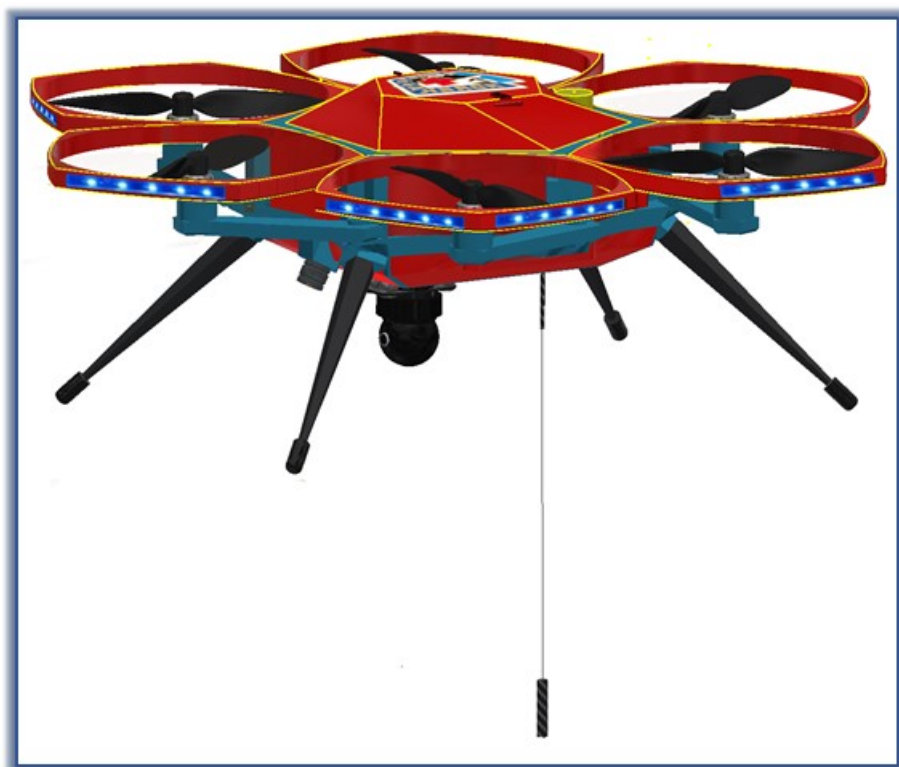
Obrázek 36 - Skica návrhu uložení jednotlivých ramen profilu 3. varinty

Návrh bude obsahovat specifické vybavení s přímou vazbou k záchranářským akcím (viz kapitola 6.11).



Obrázek 37 - Skice návrhu 3. varianty využitím fix

Poznámka: Obrázek 40 uvádím ve formátu A3 v **příloze A – SKICI VARIANT.**



Obrázek 38 - Barevná kompozice hexakoptéry

6 Finální koncept

Postup se odvíjel od následujícího pořadí jednotlivých komponent. Základní rozměry uvádím v **Příloze B – Technická dokumentace**.

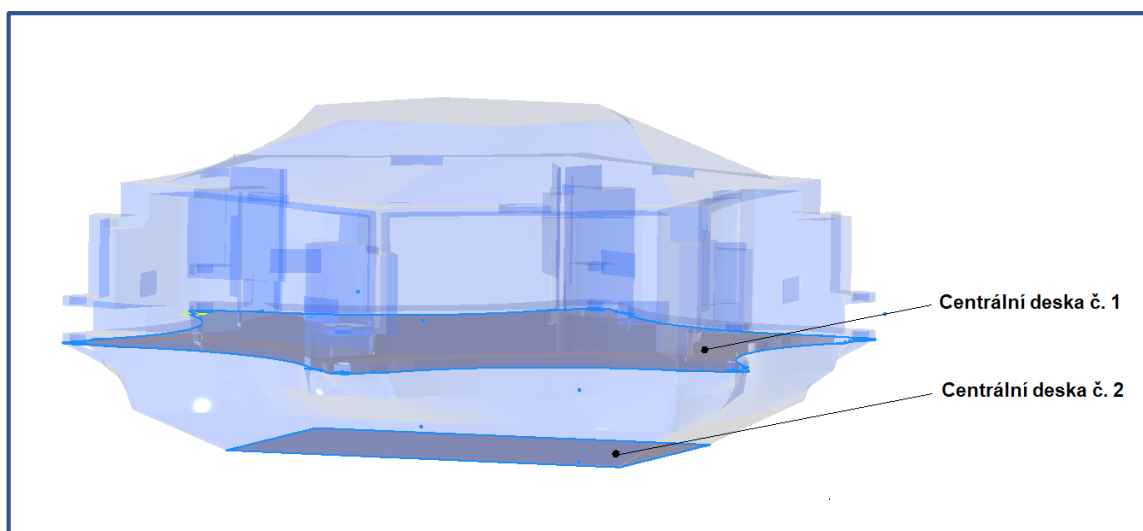
6.1 Materiál

Pro volbu rámových položek V dnešní době jsou jedním z nejvyužívanějších materiálů kompozity uhlíkových vláken. Tato vlákna zajišťují vysokou pevnost a spolu s pojivem (nejčastěji polymery) tvoří velmi nízkou hmotnost a zároveň velmi dobré schopnosti pohlcovat vibrace. Další velkou výhodou je i možnost opravy víceméně jakékoliv části. Jednotlivé typy karbonu se však značně liší svými fyzikálními vlastnostmi a některé z nich představují náchylnost na mechanické poškození. [11]

6.2 Rám dronu

Rám je základní stavební kámen každého dronu a podle jeho konstrukce se odvíjí veškeré požadavky na jeho vlastnosti. Základní nutností, kterou je potřeba si definovat, je počet rotorů, potažmo ramen. Od počtu motorů se odvíjí výkon dronu a jeho chování. Ve většině případů se používá sudý počet motorů, můžeme však najít i sestavy s lichým počtem ramen. Se zbytkem multikoptéry jsou ramena nejčastěji spojena tzv. centrální deskou, kterou tvoří horní a spodní plát horní a spodní části těla dronu. Na jednom z plátů jsou vždy umístěny všechny řídicí prvky a celý druhý plát tvoří nejtěžší a největší část multikoptéry. Centrální deska je jednou z nejpevnějších částí celé konstrukce, aby změny krouticího momentu byly pohotově přemístěny do řídicí jednotky, která se nachází uprostřed jednoho z plátů.

V mém projektu se nacházejí dvě centrální desky, jak je vidět na obrázku č. 38. Jedna činní základ pro horní plát těla dronu (zpracování horní části můžeme podrobně vidět v kapitole 6.7). Druhá centrální deska slouží jako základna spodní část (viz kapitola 6.8), kde se bude aplikovat integrovatelný akumulátor.



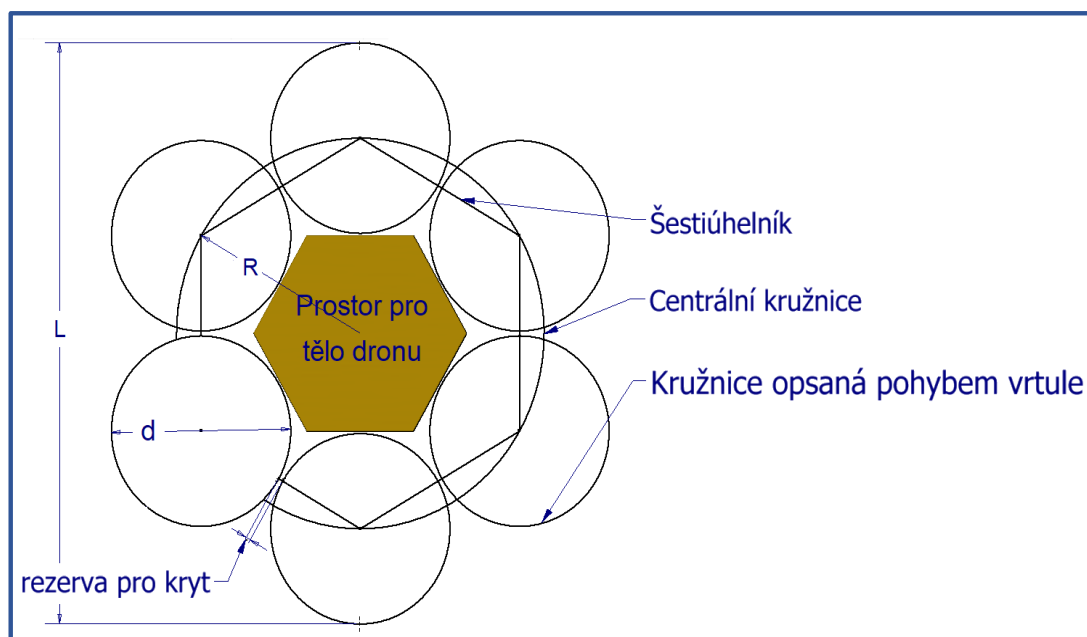
Obrázek 39 - Rozložení centrálních desek těla dronu

V konceptu jsem se rozhodla počet rotorů zvolit stejný, jako již odzkoušený u modelu Kingfisher, tzn. šest ramen, přičemž každé disponuje svým motorem – hexakoptéra.

Zkoušela jsem všechny možné varianty počtu ramen, ale při volbě menšího počtu jsem došla k nepříznivým výsledkům z hlediska výkonu a doletu dronu. Letoun by nebyl schopný vyvolat požadovaně velký vztlak, aby se letové vlastnosti vyrovnaly nepříznivým podmínkám horského prostředí.

Na druhou stranu zvýším-li počet rotorů na osm a více, dojde k relativnímu vzrůstu odběru energie akumulátoru, což si žádá navýšení počtu jeho článků, a to sebou přináší další komplikace, jako nárůst hmotnosti, se kterou se pojí větší zatížení motoru, což vyžaduje větší a těžší motor, větší průměr vrtulí a celá konstrukce si pak žádá robustní rozměry. Pro zachování nenáročné manipulace záchranářem a uživatelsky komfortního využití dávám přednost optimálním rozměrům pro možný úchop dronu člověkem, tzn. velikost rámu by neměla přesahovat 1 m.

Pro maximální zmenšení rámu jsem postupovala s myšlenkou přiblížit vrtule co nejvíce k tělu letounu, jak je vidět na obrázku č. 39. Tohoto požadavku docílím vhodným uspořádáním kružnic opisujících pohyb jednotlivých vrtulí, jejichž průměr (na obrázku 39 označené „d“) je nutno si předběžně navrhnout vzhledem k celkové velikosti rámu (na obrázku 39 označené „L“). Když středy těchto kružnic položíme na odpovídající vrcholy vzniklého šestiúhelníku, pak centrální kružnice opsaná touto šestiúhelníku tvoří výsledný poloměr (na obrázku 39 označené „R“) položení středu vrtule od středového bodu multikoptéry. Je ovšem třeba vzít v potaz i jistou rezervu na prostor pro kryt vrtulí.



Obrázek 40 - Rozpoložení kružnic opsaných vrtulemi

Záměrem konceptu bylo zmenšit rozměr dronu. Proto, jak již bylo zmíněno, byla snaha o maximální vyplnění vzniklého prostor pro tělo dronu. To přináší jisté výhody možného rozložení řídicích prvků a článků akumulátoru, což umožní tělo rozmístit do šířky, a tak zmenšit celý profil a tím zlepšit aerodynamický odpor.

6.3 Vrtule

Zásadním a důležitým parametrem pro efektivní vlastnosti letu a výdrž dronu je výběr vhodného systému vrtulí. Pomocí konstantního vztlaku na každém listu vrtule převádí rotační pohyb na konstantní vztlak.

Jednotlivé typy můžeme přizpůsobit našemu požadavku pomocí pěti základních parametrů:

- Průměr vrtule (podle hmotnosti dronu)
- Zakřivení (udává stoupavost)
- Materiál (pevnost, vibrace)
- Počet listů
- Průměr centrálního otvoru

Jako nejdůležitější parametr se uvádí průměr a stoupavost vrtule. Můžeme tak na všech vrtulích nalézt údaj např.: 10 x 4,5 L (v palcích). Číslo 10 znamená průměr vrtule. Druhý záznam (č. 4,5) popisuje vzdálenost o kterou by v ideálním případě vrtule vystoupala za jednu otáčku.

Dodatečné písmeno udává směr otáčení. Při jejich výběru je třeba si dát pozor na výběr pravotočivé (P) nebo levotočivé (L) vrtule.

Jako materiál se v současnosti uvádí plast (amatérské drony) nebo karbon (profesionální drony). [5]

U větších dronů nacházejí uplatnění sklápěcí vrtule. Jsou sice většinou těžší, zato vykazují možnost kompaktního složení.

Nutno dále podotknout jistou závislost mezi jednotlivými pohonnými komponenty dronu. S roustoucím vztlakem a stoupající hmotností je potřeba větší krouticí moment rotoru. Tím narůstá proudový odběr motoru a ten klade vyšší nárok na kapacitu článků baterie. Je proto vhodné pečlivě tyto jednotlivé vlastnosti volit s přímou vazbou k návaznosti jednotlivých prvků.

U průměru lze jednoduše říct, že čím je větší, tak unese větší hmotnost. Na delší vrtuli je produkováno více vztlaku a poradí si s těžším dronem. Je s tím však spojen požadavek na větší krouticí moment motoru, potažmo větší proudový odběr.

Pro můj model jsem zvolila karbonové skládací vrtule DJI Phantom 4 - PRO (9,4 x 4,5)



Obrázek 41 - skládací vrtule DJI [40]



Obrázek 42 - skládací vrtule DJI [40]

6.4 Motor

U výběru motoru se zaměřujeme na tyto parametry:

- Počet otáček za minutu (hodnota KV)
- Průměr motoru (krouticí moment)

- Napájecí napětí (počet článků lipol baterie)
- Počet pólů
- Směr otáčení CW a CCW

Průměrem motoru se seřizuje točivý moment a udává se čtyřmístným číselným indexem. Počet polů najdeme jen u některých motorů. Souvisí například s parametrem KV (čím menší je počet polových nastavců, tím vyšší je KV). Obecně tedy platí, že čím větší bude průměr motoru, tím větší bude kroutící moment ale menší hodnota KV.

Zvolen motor: Hyperion GS3020 – 06 (1440)

6.5 Akumulátor

Pro dnešní Rc modely slouží k pohonu lithium polymerové (Li-Pol) akumulátory. Výhodou je absence tzv. paměťového efektu. Není potřeba baterii zcela vybit a nabít, aby nedošlo k ovlivnění její kapacity. Nevýhodou však stále zůstává její životnost, která je závislá na způsobu používání.

Každý Li-Pol akumulátor se skládá z několika článků, které jsou spolu spojeny buď sériově nebo paralelně, podle toho, zda je za potřebí navyšovat napětí nebo kapacitu. Značení na každém akumulátoru je uvedeno písmeny S (sériově) nebo P (paralelně) a doplněno o hodnotu, která značí počet článků. Patrně se tedy setkáme s označením např.: 3S2P, které se rovná zapojení tří dvojčlánků sériově. Napětí je tedy rovno trojnásobku jednoho článku a kapacita dvojnásobku jednoho článku.

Dle již zmíněného online kalkulátoru byly určeny počty článku baterie. Snaha o optimální nalezení typu, počtu článku a jejich konfigurace byla realizována experimenty, potažmo zkoušením jednotlivých variant a následné porovnání výsledků. Za nejefektivnější výsledek pokládám konfiguraci 2S12P, tedy dvanáct dvoučlánkových baterií.

Do mého návrhu byl vybrán akumulátor typu: **NANO Tech 10000mAh 2S 12P 35C (70C).**

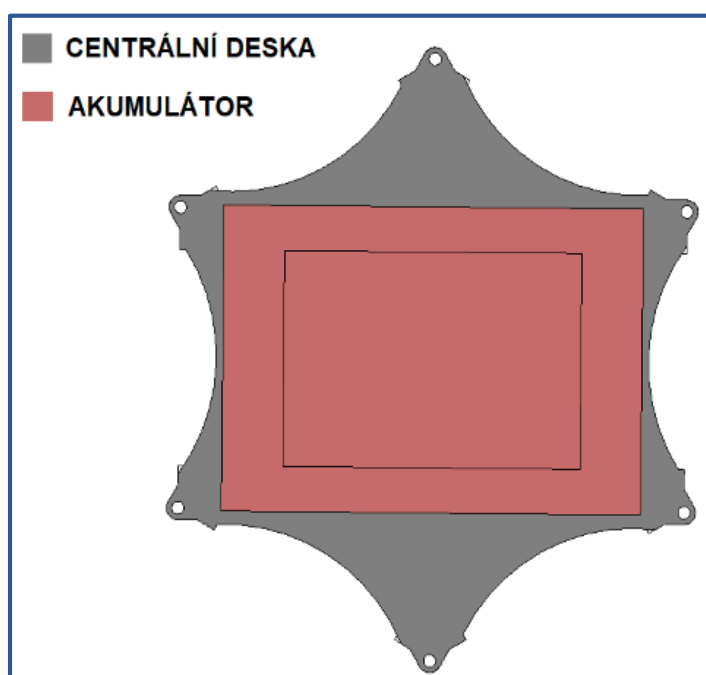
Parametry [39]:

Kapacita	10000 mAh
Napětí	2V 2S
Rozměry	165 x 58 x 21,5 mm
Váha včetně kabeláže a konektoru	461 g
Stálý proud / max proud	35C/70C

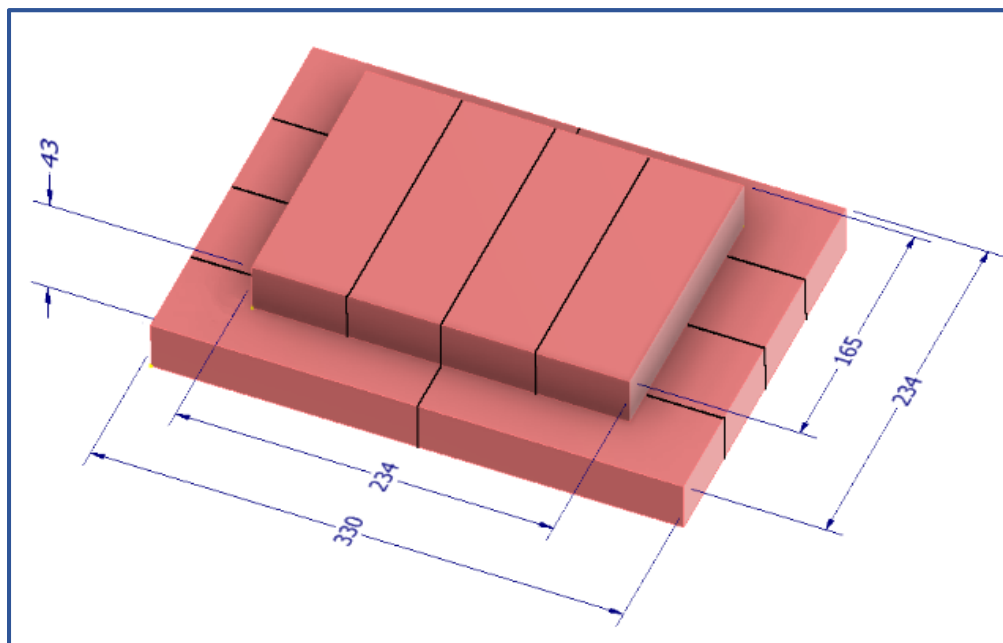


Obrázek 43 - Akumulátor NANO Tech - [39]

Celek akumulátoru a rozpoložení jednotlivých článků je zobrazen na obrázku 43. Je centrovane konfigurovan tak, aby se optimálne využil prostor spodního plátu spolu s rezervním místem pro barometr, ultrazvukový a optický modul.



Obrázek 44 - Rozpoložení akumulátoru



Obrázek 45 - Články ukumulátoru

U akumulátoru je třeba dbát na jeho správné použití, potažmo nepoužívat baterii s nadměrným nabitím nebo nadměrným vybitím. Vezmeme-li ovšem v potaz, že perspektiva dronu může být nápomocná záchraně lidského života, pak lze baterii využít na jejích 100% i přes skutečnost, že znehodnotíme její životnost.

6.6 Regulátor

Regulátor je malé zařízení, které řídí otáčky elektromotoru podle PWM signálu z řídící jednotky nebo přijímače (transmitteru) RC signálu. Celý proces řídí mikrokontrolér, na němž je nainstalovaný firmware, který upravuje PWM signál. Díky firmwaru lze nastavovat různé parametry, kdy regulátor sníží/zvýší otáčky motoru po ubrání/přidání plynu.



Obrázek 46 - Regulátor MASTER MEZON 135 opto RPM [38]

Tabulka 1 - parametry regulátoru [38]

Specifikace			
Výrobce / dovozce	Jeti / hacker	Rozměr cca [Mm]	35 x 24 x 93 mm (dxŠxv)
Počet buněk LiPo	2-12	Trvalý proud max. [A]	135
Počet buněk LiFe	2-14	Výstup snímače rychlosti	ano
Optočlen	ano	Hmotnost [g]	135
Brzda	programovatelný	Anti-flash	ano
Frekvence hodin	programovatelný	Programovatelné	přes DS-16 / DC-16, Jeti-Box
Helimode (regulace rychlosti)	Ize aktivovat		

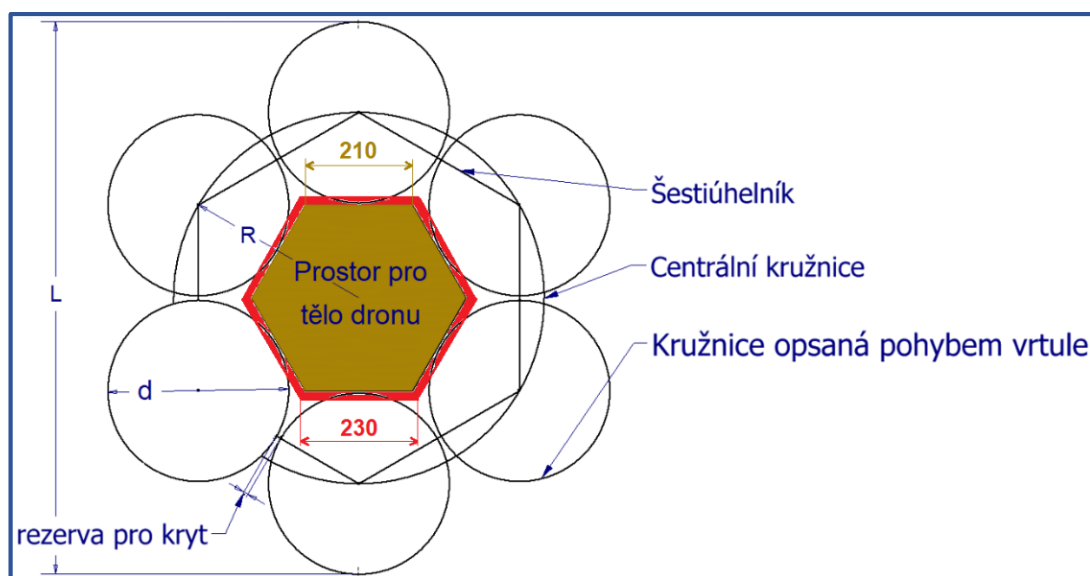
6.7 Vrchní část těla dronu

Centrální deska označená číslem 1. je základnou pro horní část těla dronu, která bude vytyčena pro dva hlavní účely. Její rám bude sloužit pro uložení řídicí elektroniky a dále jako pouzdro pro složené ramena dronu.

Celek horní části směřoval k šestiúhelníkovému tvaru. Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, myšlenkou konceptu bylo těsné uspořádání vrtulí a těla dronu. Komplikací bylo dosažení požadavku

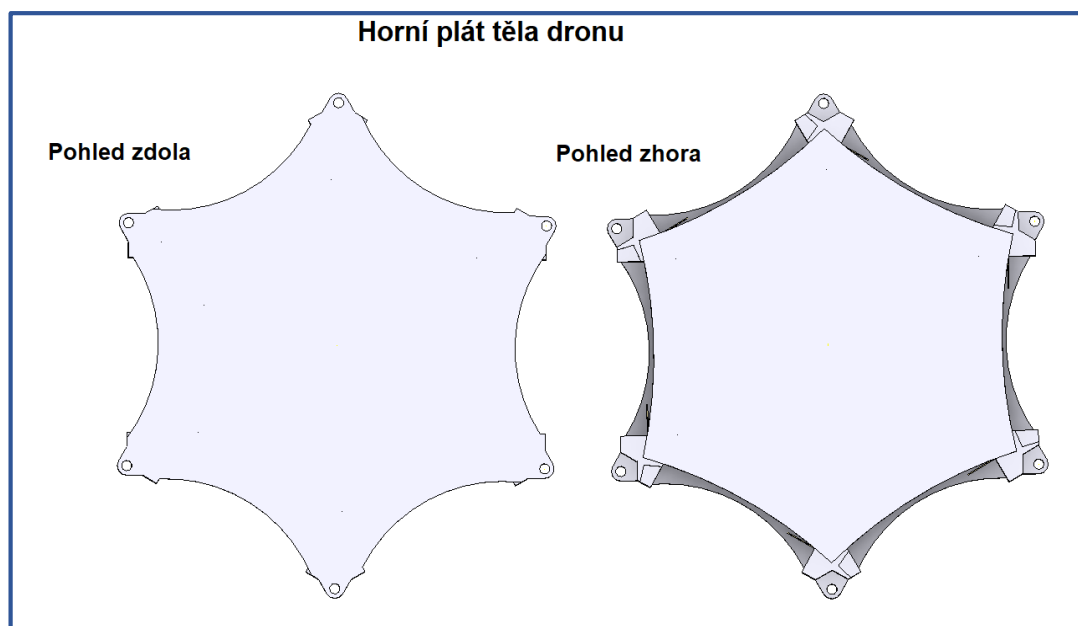
číslo 2, a to cíl návrhu skládání jednotlivých ramen pro komfortní přenos dronu záchranářem. Původní rozměry stěn šestiúhelníku (na obrázku 46 žlutou barvou) byly nedostačující pro délku ramena a jeho uskladnění a v určité fázi sklopení by došlo ke kolizi jednotlivých ramen.

Řešení kolize provádím zvětšením parametrů stěn šestiúhelníku. Abychom předešli zmíněné kolizi, stěny těla dronu by se musely zvětšit na 230 mm. V téhle části ovšem nastává další problém. Při zachování požadovaného rozmístění středů vrtulí a jim náležící centrální kružnice by horní část těla zasahovala do vzdušného prostoru vrtulí a snížila by tak potřebný vztlak pro let multikoptéry (na obrázku 46 červenou barvou).



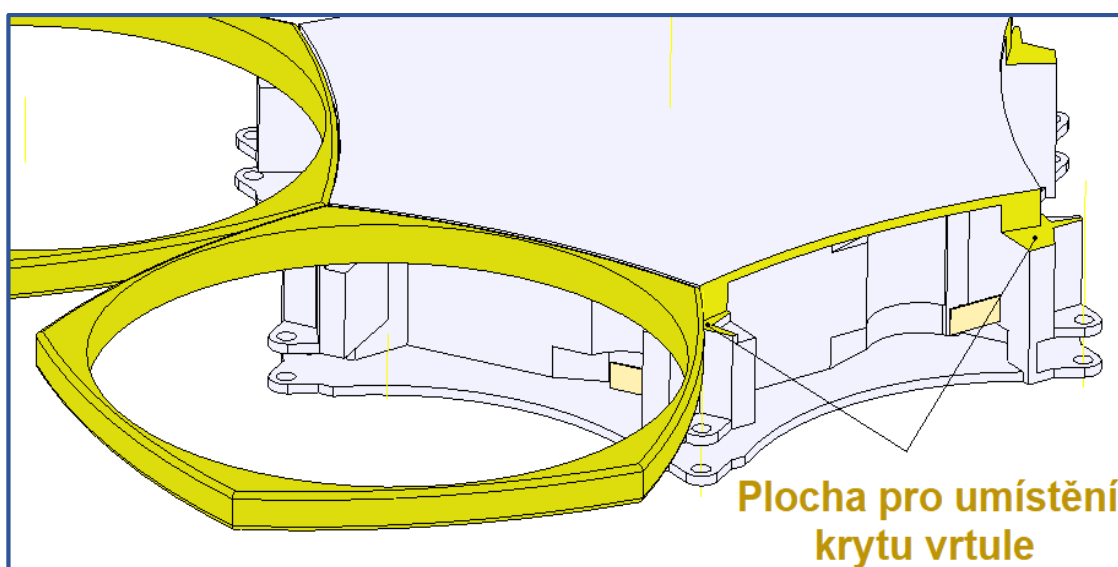
Obrázek 47 - Rozpoložení středových kružnic vrtulí

Pro dosažení optimálních letových vlastností byly provedeny výřezy hran šestiúhelníku, jak je vidět na obrázku 47.



Obrázek 48 - Horní a dolní pohled na vrchní část těla dronu

Výřezy pohledu zdola na horní plát multikoptéry, potažmo centrální desku č. 1, kopírují kružnice opsané pohybem vrtule. Druhý pohled znázorňuje vrchní kryt horní části, který navíc obsahuje výřez pro uložení pětiúhelníkového krytu vrtulí, jenž bude zároveň i k tomuto řezu stabilně uchycen metodou zácvaku k tělu dronu. (Obrázek 48)



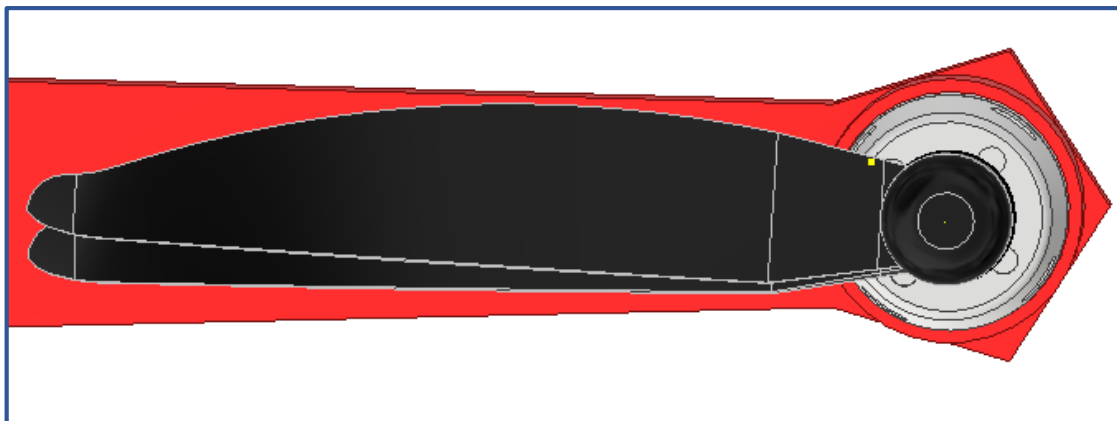
Obrázek 49 - Plochy pro umístění krytů vrtulí

Skladba ramen bude probíhat ručně následujícím postupem (pro jedno rameno):

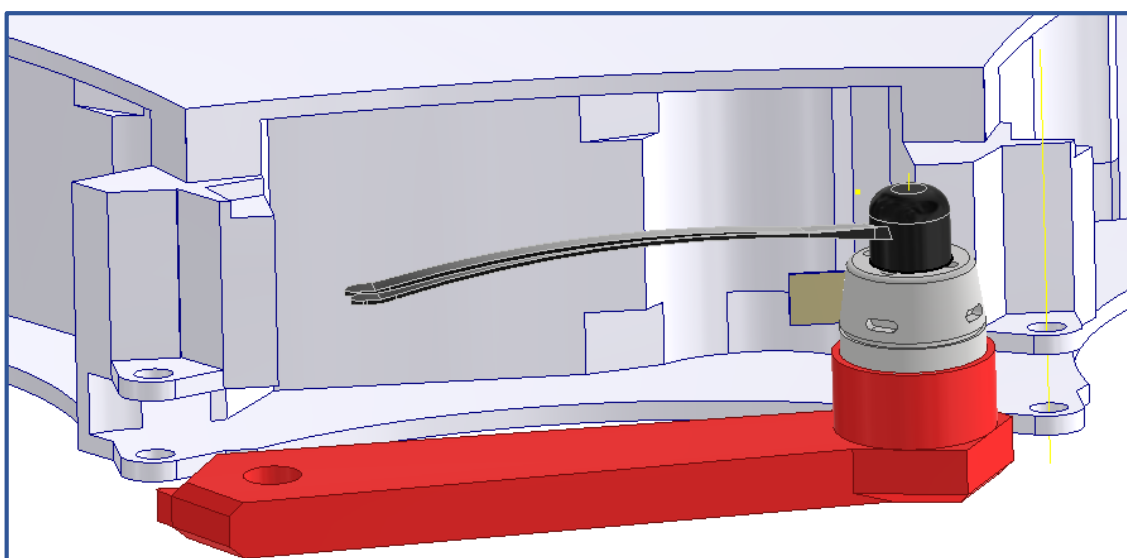
- 1) Demontáž krytu vrtule
- 2) Složení lopatek vrtule

- 3) Uvolnění pojistného kolíku ramena
- 4) Složení ramena skrz pojistný plíšek

Po ruční demontáži jednotlivých krytů vrtulí se sklopí lopatky ve směru osy ramene, tím vznikne sestava pro optimální uložení s ohledem vymezení co nejmenšího prostoru v těle dronu.

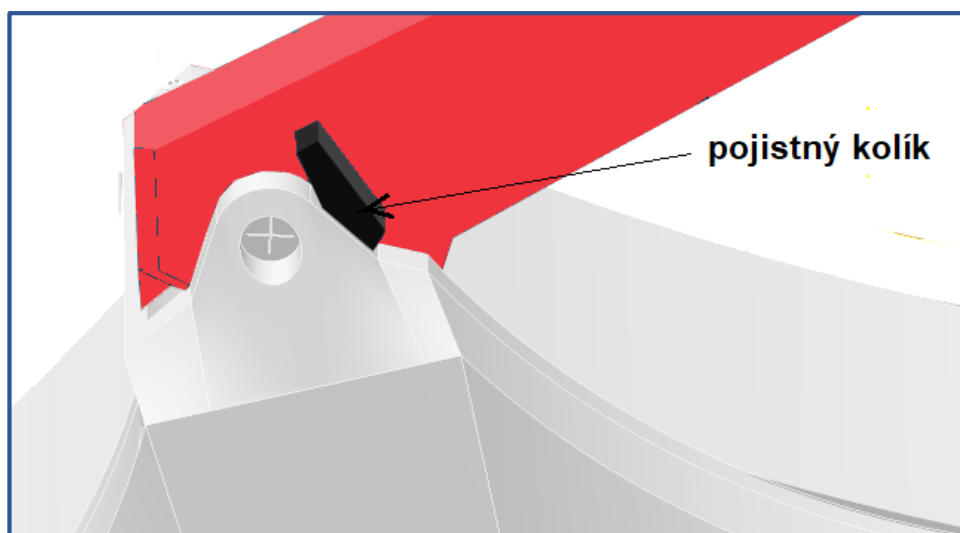


Obrázek 50 – Složená vrtule na rameni dronu



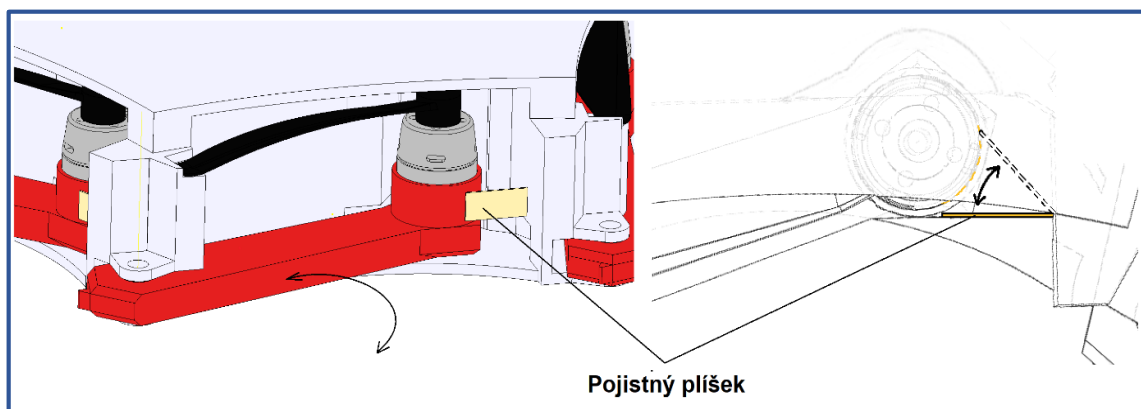
Obrázek 51 - Složené rameno dronu se složenou vrtulí

Každé rameno má ve spodní části nainstalován pojistný kolík. Tento kolík funguje na principu uvolnění pružiny. V momentě, kdy se rameno dostane do své otevřené polohy a geometrie kolíku se přenese přes hranu základní desky, pružina se uvolní, vytlačí kolík a ten pak vytvoří zarážku, čímž zamezí zpětnému sklopení ramena.



Obrázek 52 - Návrh pojistného kolíku na spodní části ramene

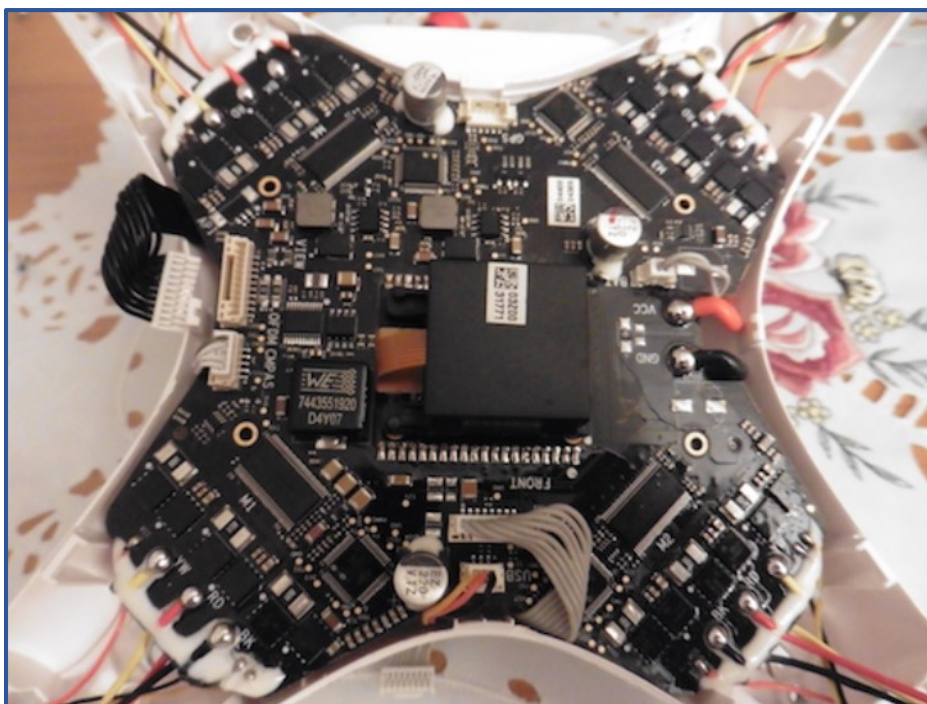
Po stlačení kolíku a následném zasunutí ramena do těla dronu, dojde ke sklopení pojistného plíšku. Při dosažení maximální sklopné polohy ramena se klapka vrátí do původní polohy a vytvoří tak přepážku pro znemožnění samovolného otevření ramene. Materiál a pružnost plíšku je přizpůsobená tak, aby se mechanickou silou, vyvolanou dlaní záchranáře, sklopila a umožnila tak ramenu průchod, ale zároveň mu zamezila samovolné návratné vysunutí.



Obrázek 53 - Návrh pojistného plíšku

Druhou významnou funkcí horního plátu je umístění řídicí elektroniky. Vodítkem pro určení rozlohy prostoru pro řídicí jednotky a ostatní elektroniku včetně kabeláže byla inspirace u existujících druhů různých značek a rozměrů. Pro své výpočty jsem si jako podnět zvolila rozměry tohoto prostoru z multikoptéry AGRAS MG – 1, jejíž velikost je o 68% větší. Lze tedy počítat s jistou rezervou pro uložení řídicí elektroniky mého modelu.

Dron DJI Phantom 3 Professional s rozměry centrální desky: 196 x 196 mm a velikostí rámu 590 mm.



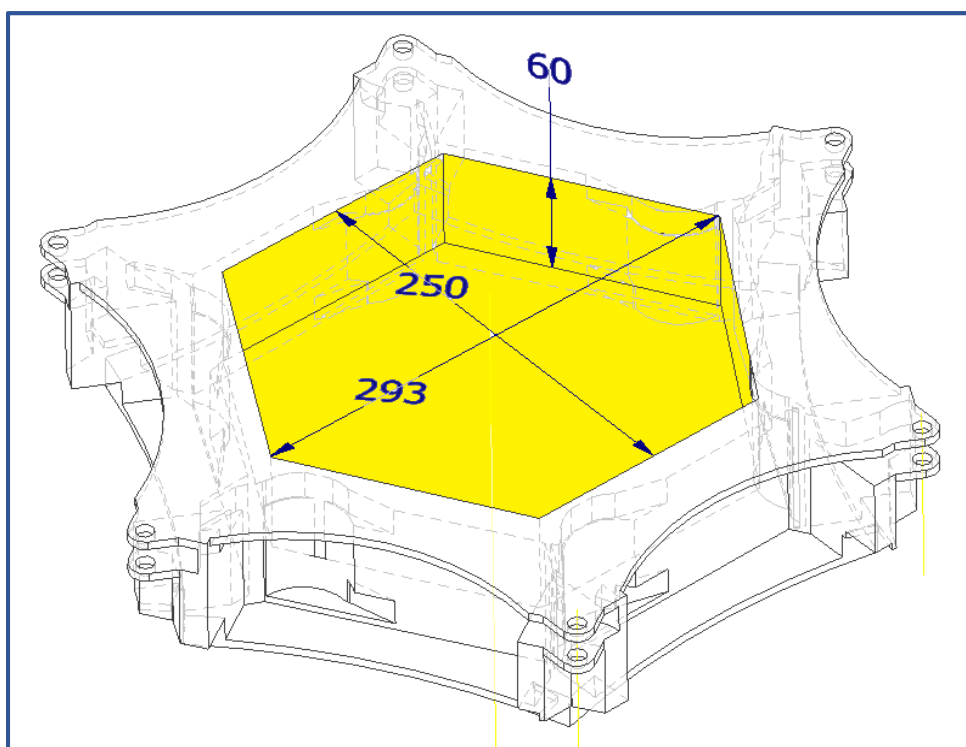
Obrázek 54 - DJI Phantom 3 Professional

Dron AGRAS MG – 1, s rozměry centrální desky 270 x 270 mm a velikostí rámu 1520 mm.



Obrázek 55 - Dron AGRAS MG – 1

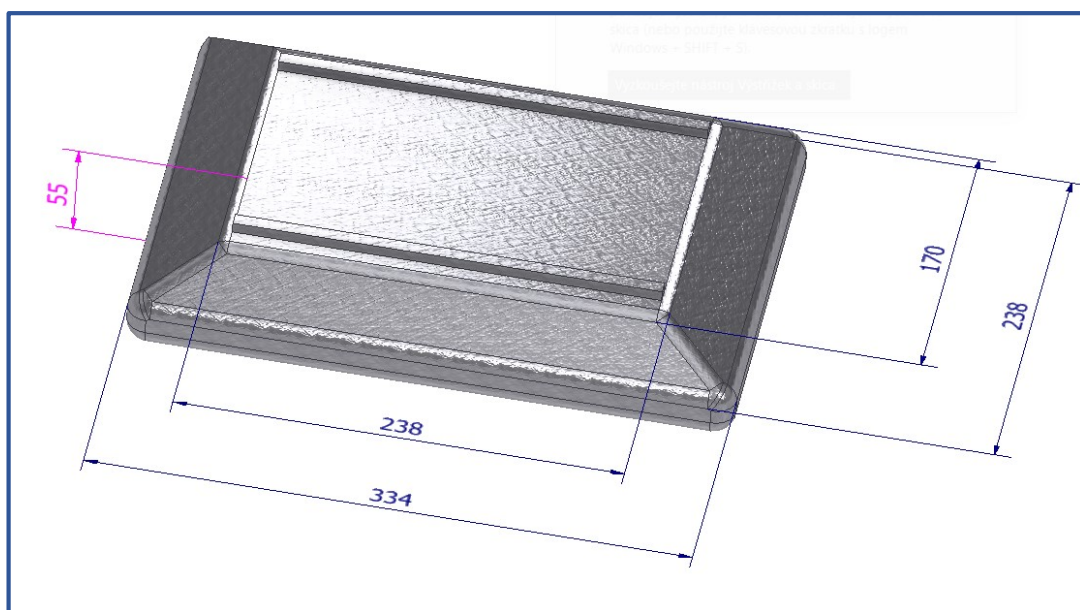
K rozložení těchto prvků tak slouží prostor na centrální desce č. 1 ve tvaru šestiúhelníku o rozměrech, jenž jsou zakótovány na obrázku 55.



Obrázek 56 - Prostor pro umístění řídicí elektroniky

6.8 Dolní část těla dronu

Spodní část těla dronu slouží pro umístění baterky a k její ochraně. Je napojena na centrální desku č. 1 a ve spodní části tvoří základnu dolního plátu centrální deska č. 2. Myšlenkou jejího tvaru byla snaha o optimální kopírování geometrie akumulátoru a tím zlepšit aerodynamiku celého tělesa. Nabízí prostor pro moduly jako např. barometr, výškoměr a ultrazvukový modul. Pro jednoduchou a komfortní výměnu napájecího zdroje byl baterii přidělen kryt, který umožní sjednocení článků v jeden komplex a tím usnadní demontáž akumulátoru jako jednotného celku at už k jeho výměně nebo nabití. Zahrnuje vodící drážky pro optimální vložení krytu do spodní části těla dronu.



Obrázek 57 - Kryt akumulátoru

Dále obsahuje spodní část zachycení karabiny do skoby, pro možnost uchycení lezeckého lana pro jeho transport přes ocelové lano lanovky. (viz. kap 5.1)



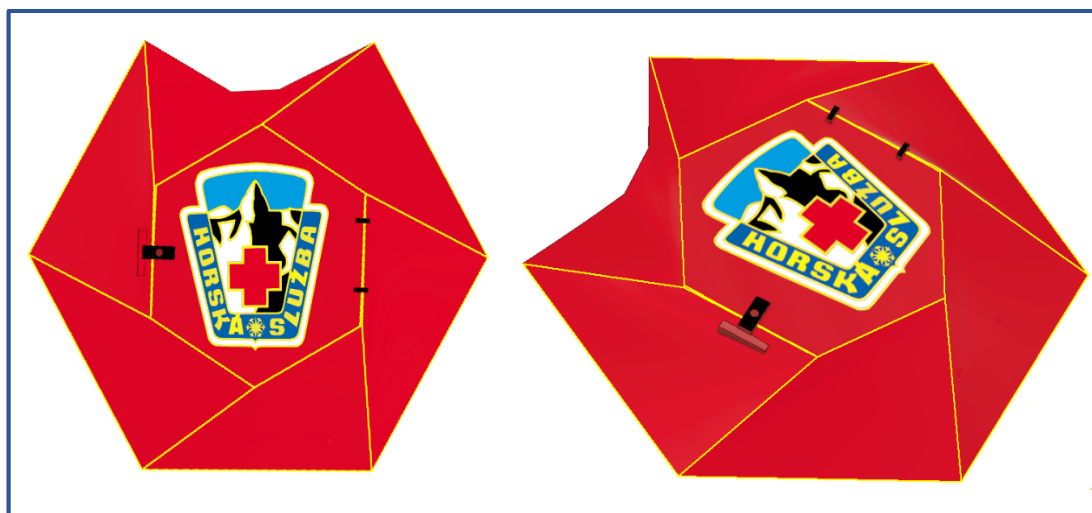
Obrázek 58 - Skoba pro uchycení lana

6.9 Záchranářský box

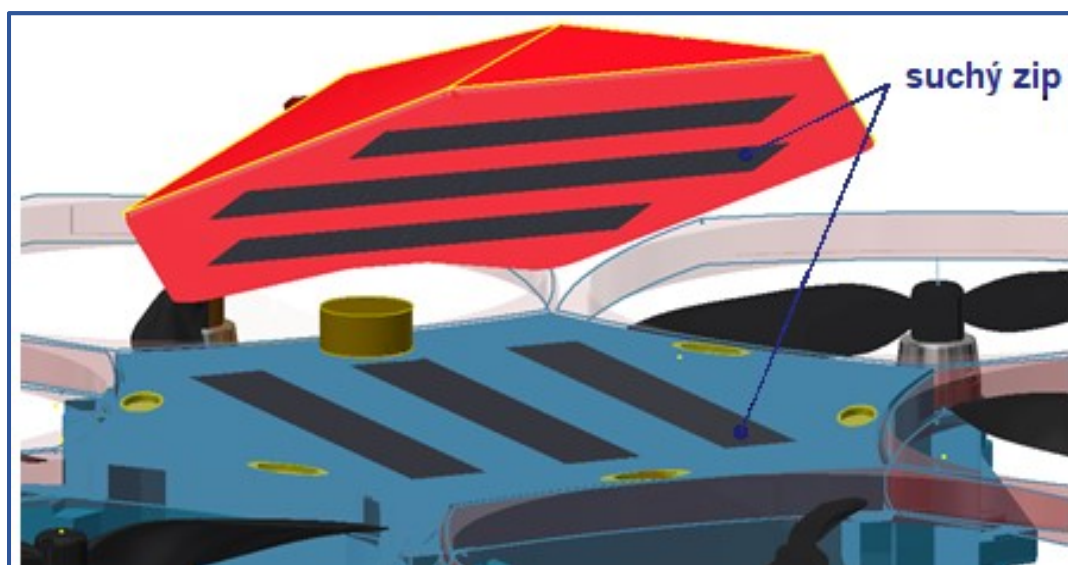
Záchranářský box slouží pro transport lékařských položek. K tělu dronu bude připevněn pomocí suchého zipu, aby bylo možno jednoduché odejmutí vyčerpanými postiženými. Následně pak dron může letět zpět a je připraven pro další použití, letoun nemusí být stále na místě události s postiženým. Vybavení boxu bylo vybráno na základě předpokladu, že postižený se na místě nachází v akutním stavu nebo delší dobu. Jeho celková hmotnost by neměla přesáhnout 1000 g. Prostředky pro vybavení se mohou lišit dle typu záchranné akce (viz hmotnostní tabulka kapitola 6.13)

Základní vybavení obsahuje:

- **termoizolační fólie** - poskytne první pomoc v případě podchlazení, (hmotnost 50 g),
- **jednorázové hřejivé sáčky s vlastní aktivací** - vznik exotermické reakce při prasknutí kapsle (hmotnost 100 g),
- **mobilní telefon, případně vysílačka** (hmotnost se pohybuje okolo 100 – 150 g),
- **malá lékárnička** - základní obvazový materiál, nůžky, případně léky - antihistaminika, analgetika, (hmotnost 80 g),
- **potraviny s vysokou energetickou hodnotou** - hroznový cukr, energetické tyčinky (hmotnost 50 g).



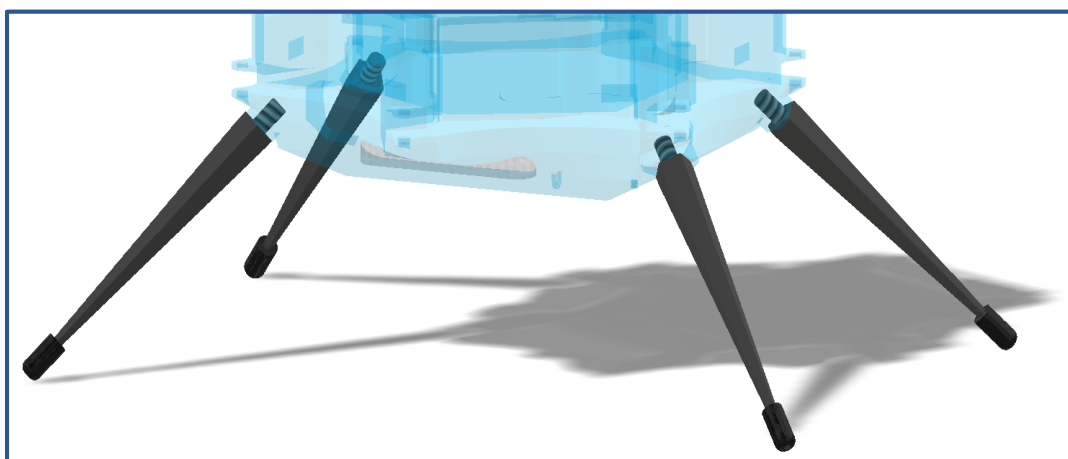
Obrázek 59 - Záchranářský box



Obrázek 60 - Připevnení záchrannářského boxu k tělu dronu

6.10 Podvozek dronu

Podvozek se uplatňuje zejména k ochraně podvěšeného vybavení dronu a vzhledem k jeho konstrukci napomáhá snadnějšímu vzletu a přistání díky zvětšení vzdálenosti rotorů od země. Vzhled podvozku volím jako čtyři jednoduché nohy. Hlavní požadavek je na jejich pevnost, jelikož často musí absorbovat nárazy při přistání. Pro částečné pohlcení energie jsou vybaveny lepeným měkčeným materiálem na stykových plochách. Nohy jsou k tělu připevněny pomocí závitů, takže je jejich demontáž uživatelsky snadno přístupná a je zachováno stabilní spojení podvozku s letounem.



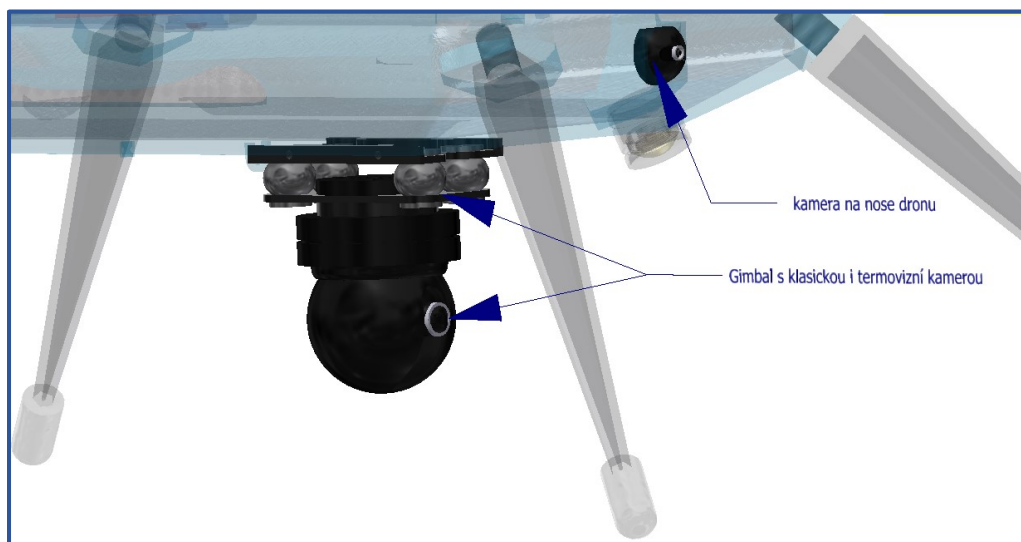
Obrázek 61 - Podvozek dronu

6.11 Specifické vybavení

Využití jednotlivých aparatur se odvíjí od druhu záchranné akce. Tím je také stanovena konečná vzletová hmotnost multikoptéry.

6.11.1 Gimbal s klasickou i termovizní kamerou

Dron je vybaven dvěma kamerami. První menší se nachází na nose dronu. Jejím úkolem je detekce překážek ve směru letu a orientace pilota. Druhá slouží záchranářům pro širokoúhlý pohled krajiny pod dronem. Mimo klasického živého přenosu má kamera také možnost funkce termovizního obrazu, který lze využít ve velkém měřítku při pátrání pohřešovaných osob, hlídkování přítomnosti turistů v zakázaných oblastech, při pádu lavin a další. Tato kamera využívá tříosý gimbal s vlastností absorbovat otřesy letounu, tudíž pak kamerový přenos vykazuje lepší kvalitu.



Obrázek 62 - Optické moduly dronu

6.11.2 Reprodukční s mikrofonom

Reproduktory spolu s mikrofonom slouží ke komunikaci mezi zraněným/pohřešovaným a záchranářem. Díky kameře a mikrofону rychle detekují stav osob a můžou záchrannou akci zahájit takřka okamžitě po příletu dronu. Operátor tak může ze stanice navést turisty, jak si pomoci sám, popřípadě co má dělat do příjezdu záchranářů.

6.11.3 Lavinový senzor

Lavinové senzory sestávají ze dvou částí – detektor a reflektor.

Detektor je používán pro přesnou lokalizaci hledaného, pracuje na principu směrového vyhledávání pomocí harmonického radaru. Výsledek se zobrazuje jak opticky (na tabletu obsluhy dronu) tak akusticky (sluchátka obsluhy dronu)

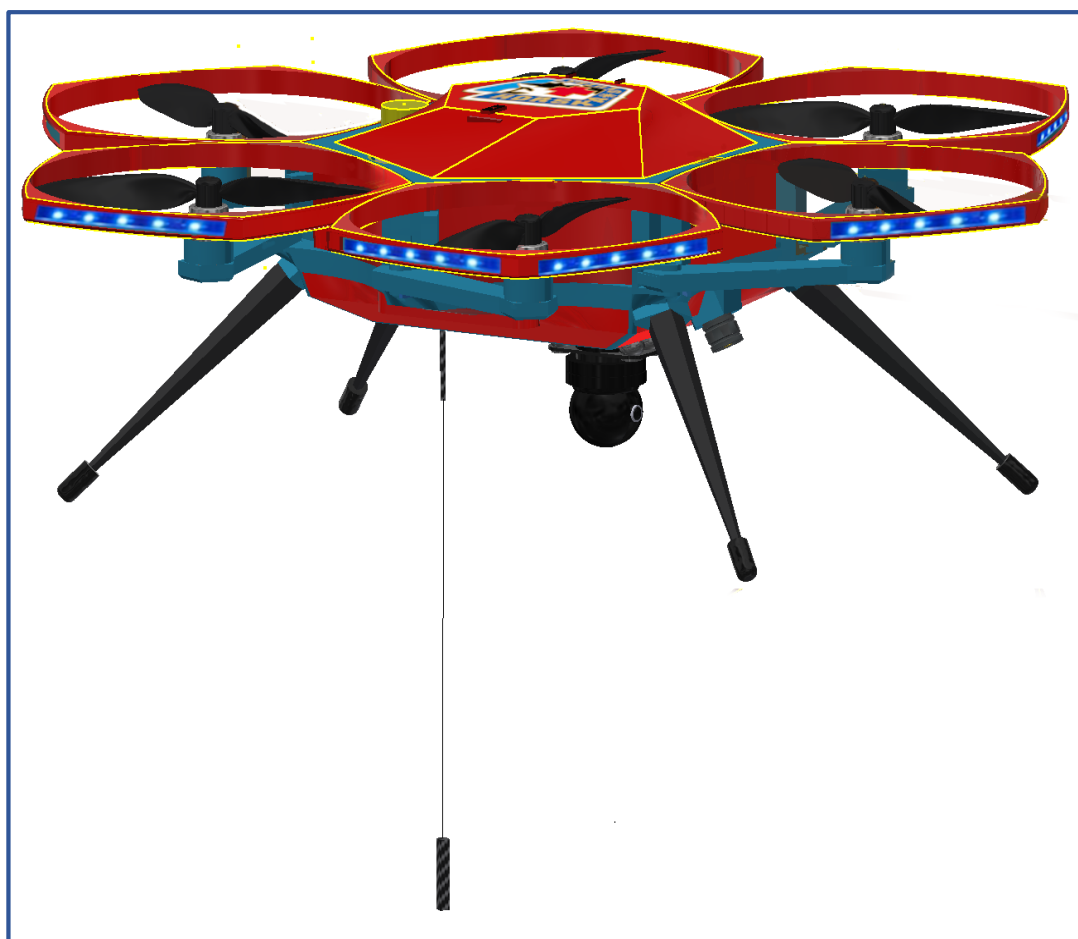
Reflektor je malá kapsle, která může být integrována do výbavy (batoh, kalhoty, bunda). Tento prvek je pasivní a obsahuje rezonanční obvod pro jednu specifikovanou frekvenci. Nepotřebuje tedy napájení, je „stále zapnutý“ [37].



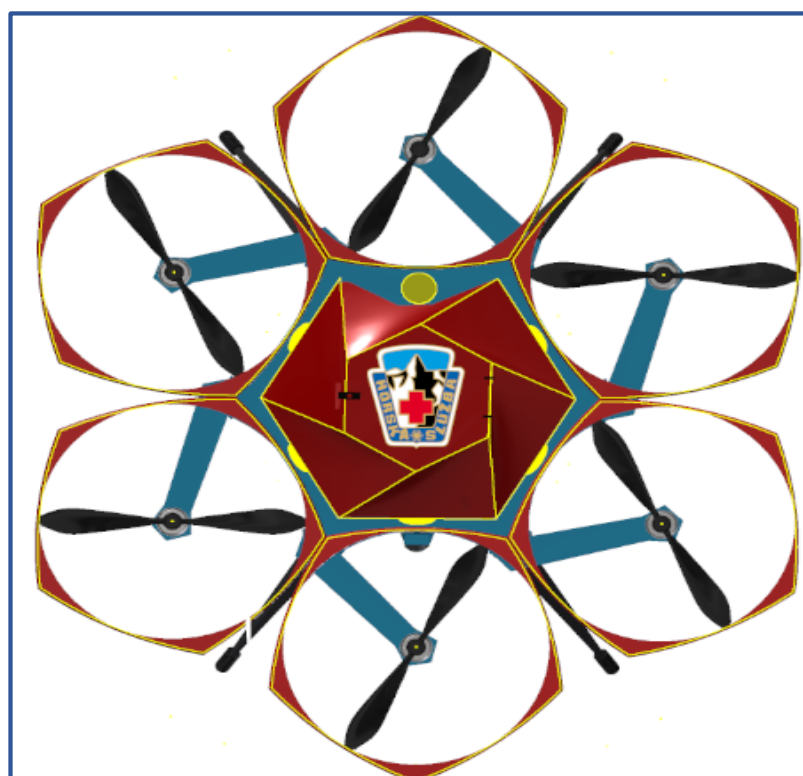
Obrázek 63 – Lavinový senzor [37]

6.12 Design a barevná kompozice

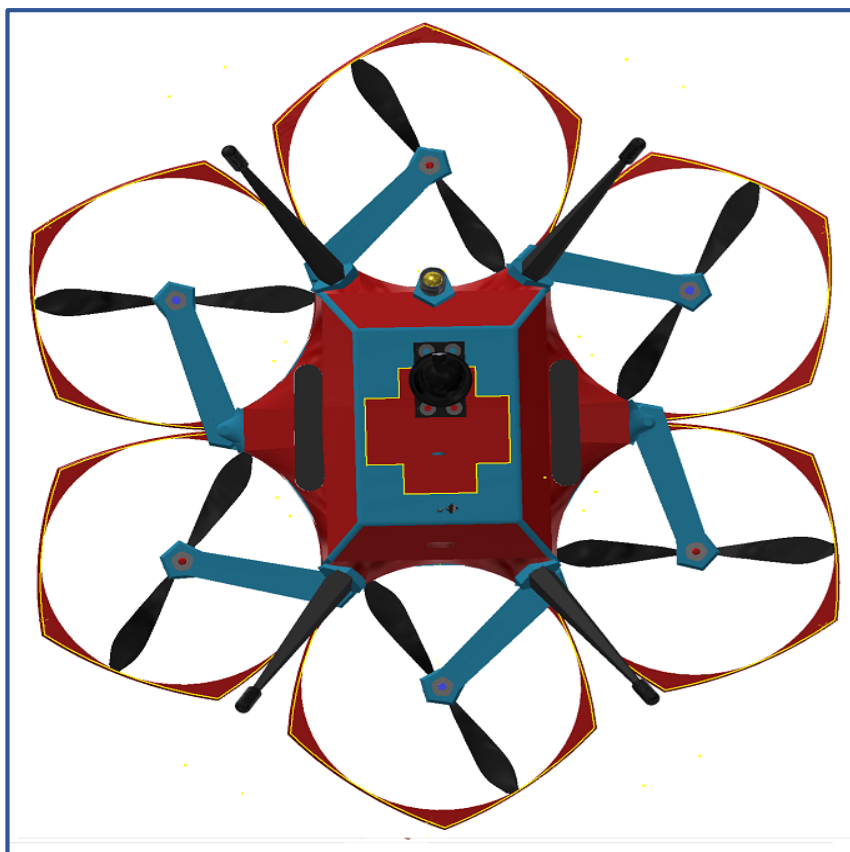
Barevný kontrast zařízení je inspirován příslušnými barvami Horské služby. Vrchní viditelná část záchranného boxu obsahuje příslušné logo záchranné složky. Na viditelném okraji krytů vrtulí se nachází LED pásek s modrým osvětlením. Viditelnost dronu klade požadavky především na detekci zařízení ze země, takže jsou intenzivní diody umístěny zespod dronu, jak je vidět na obrázku 66.



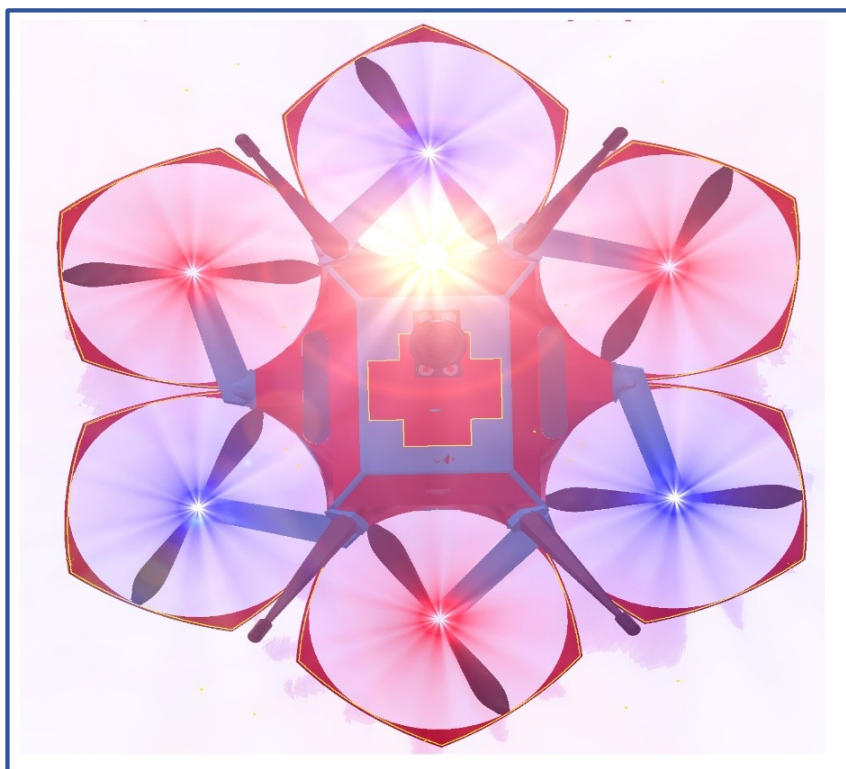
Obrázek 64 - Barevná kopmozice záchranářského dronu



Obrázek 65 - Pohled shora



Obrázek 66 - Pohled zezdola



Obrázek 67 - Pohled zezdola v situaci svítících světél

6.13 Hmotnost letounu

Hmotnost letounu byla v prvních krocích při návrhu rámu a základních komponent dronu odhadnuta. Dle předchozího požadovaného stanovení hmotnosti neměla přesáhnout 15 kg. Na základě přibližných rozměrů navrhovaných komponent, jsem odhadla objemy součástí zjednodušením jejich geometrie. Jednotlivé výsledky byly zaokrouhleny na vyšší čísla, vzniká zde tedy lehká rezerva.

Po zhotovení modelu ve 3D softwaru „Inventor Professional 2021“ byla provedena kontrola hmotností rámových položek, která je v tabulce označena jako „hmotnost reálná“. Výsledná finální váha letounu, jejíž hodnota činí **11 842 g**, je menší než váha odhadovaná, s níž bylo v celém projektu počítáno. Mohu tedy konstatovat, že očekávané letové vlastnosti mohou být ve skutečnosti na vyšší úrovni.

Tabulka 2 - Odhadovaná a reálná hmotnost jednotlivých položek

Položka	hmotnost odhad [g]	hmotnost reálná [g]
Motor	1056	1056
Akumulátor	6264	6264
Regulátor	145	145
Vrtule	90	90
Řídící jednotka + kabeláž	300	300
Antény (2)	30	30
Kamera na nose	60	60
Kamera+gimbal	250	250
Osvětlení	70	70
Reproduktory	300	300
Padák	200	200
Lavinový snímač	200	200
Transmitter	7	7
Rám (viz tab. "rám dronu")	2400	1977
Záchr. Mat. (viz tab. "Záchrannářský materiál")	900	900
Celkem	12265	11842

Legenda
vyhledaná hodnota
Odhadovaná hodnota
Reálná hodnota

Poznámka: Jednotlivé komponenty pod označením „vyhledaná hodnota“ (v tabulce 2 označeno zeleně), jsou vyčísleny jako průměrné hodnoty nalezených produktů na trhu.

Tabulka 3

Záchranářský materiál	
Položka	hmotnost [g]
termoizolační folie (2 ks)	50
hřejivé sáčky (4 ks)	400
mobilní telefon	150
malá lékárnička	80
energetické tyčinky	50
celkem	730

Legenda

Odhadovaná hodnota

Tabulka 4

Rám dronu - Karbon (objemová hmotnost 1,6 g/cm ³) tloušťka stěn rámu - 0,2 cm			
Položka	objem odhadovaný [cm ³]	hmotnost odhadovaná [g]	hmotnost Inventor [g]
tělo (30x30x12)	648	1036,8	1500
ramena (18x4x1,5)	93,6	149,76	126
box (25x25x4)	330	528	45
nohy (30x3x3)	288	460,8	72
kryt vrtule (ø 30)	125	200	234
Celkem	1484,6	2375,36 ≈ 2400	1977

Legenda

Odhadovaná hodnota

Reálná hodnota

Výsledná hmotnost dronu je přímo spjatá s druhem záchranné akce a je dána položkami potřebného vybavení.

6.14 Kontrola statického zatížení podvozku dronu

V programu „Ansys“ byla provedena statická pevnostní analýza pro výpočet zatížení podvozku dronu v situaci, kdy je dron opatřen veškerým možným vybavením a zatížen maximální vahou.

Sestava podvozku se skládá ze čtyř noh. Analýza byla provedena pro odpovídající zatížení jedné nohy, kvůli možnosti jemnějšího síťování a tím přesnějších výsledků. Noha je nahoře s tělem dronu spojená pomocí závitu, jež je bráno jako pevná vazba. Gumový špunt na konci nohy můžeme brát jako pevný dotyk se zemí. Ve výpočtech však volím méně příznivou variantu kluzného dotyku, kdy se nohy vlivem zátěže můžou rozjet například na zledovatěném povrchu.

Výchozí parametry sestavy:

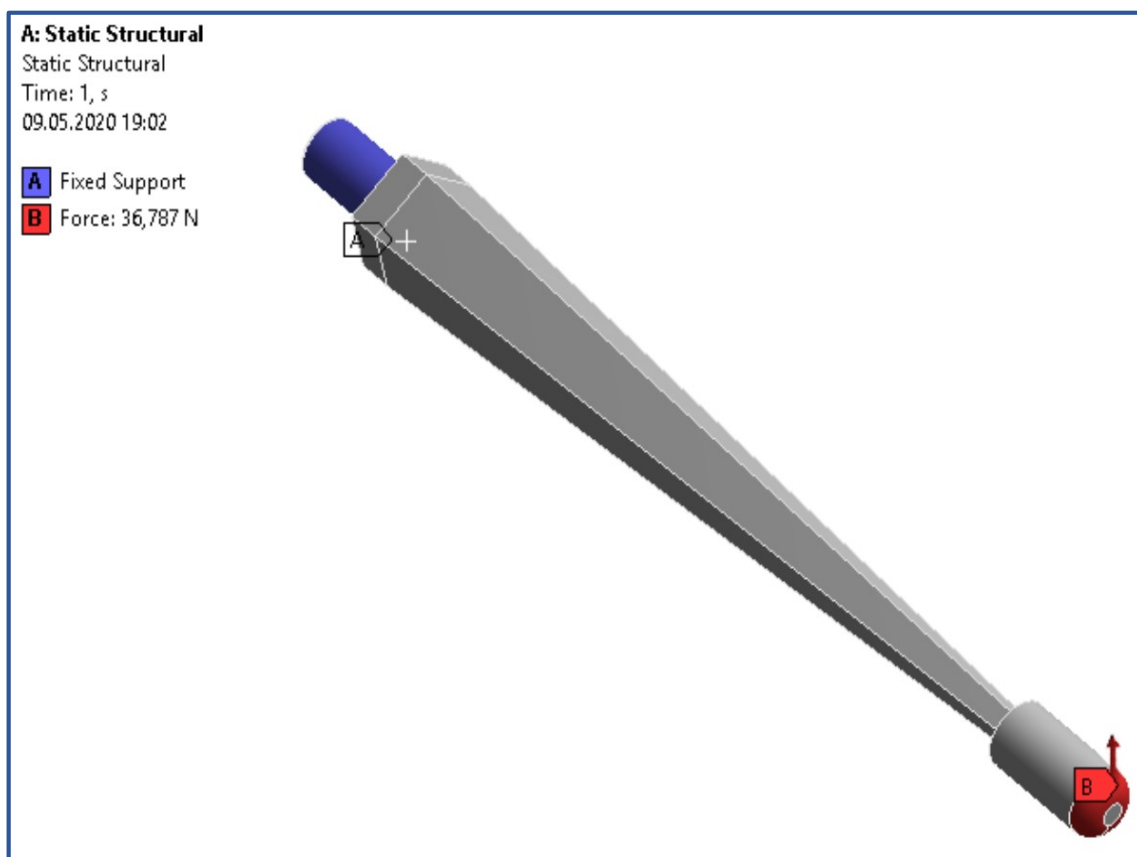
Karbon můžeme vyhledat s vysoce odlišnými fyzikálními vlastnosti. Ve výpočtech proto bylo počítáno s nejnižšími nalezenými hodnotami meze kluzu a pevnosti v tahu.

Karbon:

- hustota: $1,760 \text{ g/cm}^3$
- mez kluzu: 300 Mpa
- pevnost v tahu: 577 Mpa

Zatížení podvozku je dáno hmotností celého dronu. V programu jsem sílu simulovala opačným směrem, kvůli jednoduššímu zadávání podmínek.

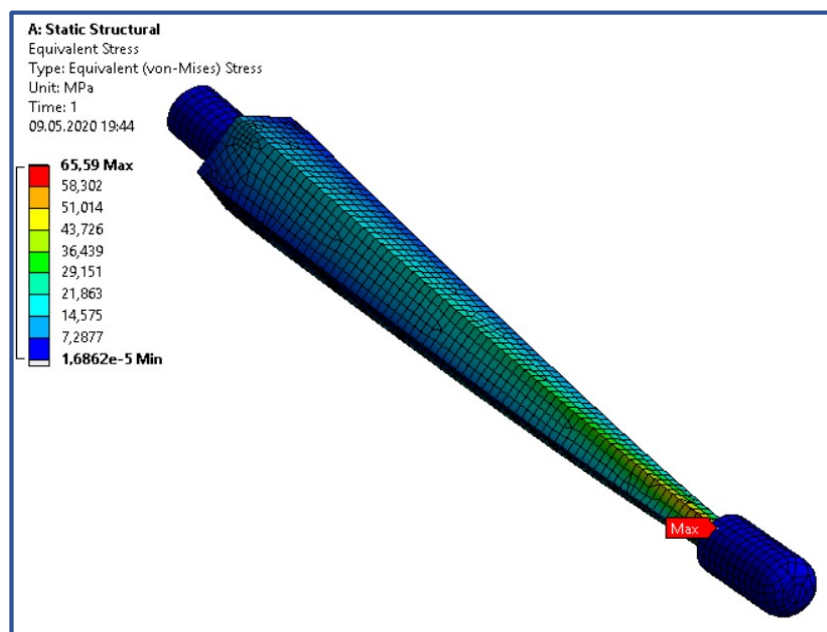
- Hmotnost dronu: 15 kg (12 kg + 3 kg rezerva)
- Síla působící na jednu nohu: $36,787 \text{ N}$ ($(15 \cdot 9,81) / 4$)



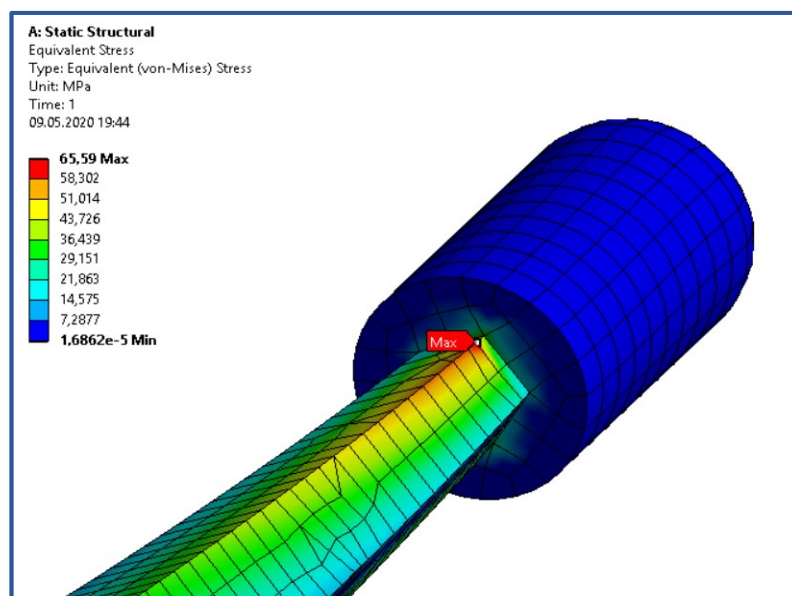
Obrázek 68 - Zadání okrajových podmínek

6.14.1 Výsledek analýzy:

Výsledkem statické pevnostní analýzy zatížení jedné nohy je napětí Von-Mises s hodnotou **65,56 MPa**, jak znázorňuje obrázek 68. V porovnání s mezí kluzu materiálu, která činí nejvyšší nalezenou hodnotu 300 MPa můžeme potvrdit, že se deformace a posuv součásti pohybuje v tolerantních hodnotách a navržená konstrukce podvozku dronu je vzhledem k maximálnímu zatížení vyhovující.



Obrázek 69 - Výsledek statické pevnostní analýzy zatížení jedné nohy



Obrázek 70 - Detail kritického místa

7 Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou užitečného řešení poskytnutí první pomoci v horských oblastech prostřednictvím bezpilotního letounu. Nejsilnějším argumentem, proč zahrnout takový dron do výbavy Integrovaného záchranného systému včetně Horské služby, je bezpochyby jeho multifunkčnost a široké spektrum využití, které dokáže značně usnadnit a urychlit práci záchranářů.

V současnosti je potenciál bezpilotního letounu využíván a neustále testován stanicí Horské služby v Krkonoších. Cílem mé práce bylo vytvoření konceptu estetického vzhledu a návrh inovace tohoto zařízení, se snahou přiblížit se k jeho letovým schopnostem a integrací specifického vybavení s přímou vazbou k záchranným akcím. Byly zpracovány tři varianty možného řešení.

První varianta se soustředila na vizáž se symbolikou červeného kříže. Její konstrukce je možná ve dvou provedeních, a to ve formě kvadrokoptéry nebo oktorkoptéry. První návrh zaostává v letových schopnostech. Díky sníženému počtu rotorů klade nároky na větší rozměry a kvalitnější pohonné jednotky.

Druhý návrh disponuje vyšším počtem rotorů, respektive je odolnější horským povětrnostním podmínkám. Nese s sebou však vyšší náklady. Myšlenkou druhé varianty je spojení bezpilotního letounu s pevnou a rotační nosnou plochou. Vzniklý koncept se skládá z pevného těla letounu a tří rotorů zakomponovaných v rámu, které umožňují lepší ovladatelnost stroje. Návrh obsahuje výhody obou konstrukcí. Prostředek disponuje možností kolmého vzletu, manipulace stroje ve vzduchu, zakotvení ve visu a podstatně delšího letu. Problémovým faktorem je zde použitelnost do určitého stupně povětří nízká nosnost letounu.

Vývoj třetí a finální varianty je detailněji rozveden včetně náležitého technického vybavení. Jeho návrh je soustředěn na relevantní konstrukci, která zahrnuje skladbu dronu a umožní tak záchranáři komfortnější manipulaci a přenos zařízení v batohu. Předností stavby je odjímatelný box sloužící k přepravě záchrannářského materiálu sloužící pro první pomoc. Podoba a potenciál boxu může existovat ve více podobách a představuje širokou variabilu využití přepravovaného materiálu. Do budoucna je možné uvažovat o přizpůsobení konstrukce výbavě AED. Dále nabízí schopnost zajištění lana při transportu osob uvíznutých na lanovkách (viz. 5.1).

Díky studiu problematiky dronů jsem dospěla k úsudku, že budoucnost záchranných složek nenápadně směřuje cestou k využívání těchto prostředků, jakožto užitečných pomocníků při údělu jejich poslání.

Seznam použité literatury

- [1] KARAS, Jakub. 222 tipů a triků pro drony. Brno: Computer Press, 2017. ISBN isbn978-80-251-4874-7
- [2] LASNOVSKÝ, Lukáš. Sociální funkce dronů a jejich využití ve veřejném prostoru [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/37414i/>>.Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Vedoucí práce PhDr. Martin Flašar, Ph.D.
- [3] HAMAN, T. Přehled bezpilotních letounů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ivan Dofek. Dostupné z https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28533, cit. 6.4.2020
- [4] DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY: PŘEDPIS L 2 [online]. 2014 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [5] PECH, Václav. Návrh a konstrukce prototypu víceúčelového dronu [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/31536/1/diplomova_prace_pech.pdf, Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. Vedoucí práce Doc., Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.
- [6] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-.
- [7] Co je to dron a jaké může mít využití? Droni.cz [online]. 10.8.2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/co-je-to-dron/>
- [8] OPLUŠTIL, Milan. Určení řízení pohybových stavů quadrocoptery [online]. Zlín, 2014 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/29962?show=full>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [9] BURŠÍK, Jiří. Autonomní létající vozidla a jejich aplikace [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/12508/bakalarska_prace_Jiri_Bursik-Autonomni_letajici_vozidla.pdf?sequence=1. Bakalářská práce.
- [10] SUROVÝ, Peter. Drony a jejich využití v lesnictví. Silvarium.cz [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnictvi/drony-a-jejich-vyuziti-v-lesnictvi>

- [11] LUŽNÝ, Filip. Analýza mechanických vlastností rámů jízdního kola [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109710/LUZ0014_FS_B2341_3901R003_2015.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR3DeLI_Ux_clrYsWM-uGrxFMwvP04JGwuKl0QMlxJl92pUSTGFIsp9Haw. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.
- [12] PŘÍHODOVÁ, Žaneta, MgA. OSOBNÍ ZÁCHRANÁŘSKÝ DRON UAV [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.fa.cvut.cz/galerie/diplomove-prace/2015-1-prihodova-osobni-zachranarsky-dron-uav-57544d5b501653748408fe2a/diplomova-prace.pdf>. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce MgA. Martin Tvarůžek.
- [13] PAŠKOVÁ, Miroslava. Fotoreportáž ze cvičení Horské služby: Tihle horalové, to jsou teprve borci! Ozbroyeneslozky.cz [online]. 17. 3. 2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.ozbroyeneslozky.cz/clanek/fotoreportaz-ze-cviceni-horske-sluzby-tihle-horalove-to-jsou-teprve-borci>
- [14] DJI Matrice 210 je dron pro profesionální použití, umí nést termokameru FLIR. Pozary.cz [online]. 26. 4. 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/209502-dji-matrice-210-je-dron-pro-profesionalni-pouziti-umi-nest-termokameru-flir/>
- [15] PHILLIPS, Alan. Ambulance Drone Concept Demonstrated at TU Delft. Dronelife.com [online]. 28. 10. 2014 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://dronelife.com/2014/10/28/ambulance-drone-concept-demonstrated-tu-delft/>
- [16] AED Drone Tu Delft. Regimage.org [online]. 1. 3. 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.regimage.org/aed-drone-tu-delft/>
- [17] GROHMANN, Jan. Droni jako létající záchranáři. Hybrid.cz [online]. 23. 11. 2014 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/drony-zachranuji-lidi-se-srdecni-zastavou>
- [18] Poslání a úkoly. Horskasluzba.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.horskasluzba.cz/cz/horska-sluzba/poslani-a-ukoly>
- [19] HEJTMÁNEK, Tomáš. Horská služba si koupila dron, jeho využití ale omezuje legislativa. Idnes.cz [online]. 12. 1. 2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/hradec-kralove/zpravy/novy-dron-horske-sluzby.A160112_171455_hradec-zpravy_the

- [20] Český dron pomáhá horské službě. Rychle a bezpečně vyhledává oběti laviny. Echo24.cz [online]. 8. 3. 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/SgLU/cesky-dron-pomaha-horske-sluzbe-rychle-a-bezpecne-vyhledava-obeti-laviny>
- [21] ZEMAN, Radek. HS pátrala s pomocí dronů. Horskasluzba.cz [online]. 27. 8. 2018 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.horskasluzba.cz/cz/aktualni-informace/aktualne/tiskove-zpravy/2720-hs-patrala-s-pomoci-dronu>
- [22] Poslání a úkoly. Horskasluzba.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.horskasluzba.cz/cz/horska-sluzba/poslani-a-ukoly>
- [23] HOHENLOHE, Stephan zu. Drony: stručně a přehledně: výběr vhodného modelu, ovládání, foto a video, legislativa. Přeložil Richard KŘÍŽ. Frýdek-Místek: Alpress, 2016. ISBN 978-80-7543-234-6.
- [24] KOCOUREK, Jaroslav a Jaroslav ŘEŠÁTKO. *Drony: praktická příručka pro majitele dronů DJI*. Praha: TELINK, spol. s r.o., 2017. ISBN 978-80-7346-228-4.
- [25] PAVOL, Lupták. Design bezpilotního letounu [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=129677. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.
- [26] «Рособоронэкспорт» представляет модернизированный БЛА «Орлан-10Е». <https://oborona.ru/> [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://oborona.ru/includes/periodics/defense/2015/0820/170116546/detail.shtml>
- [27] Primoco UAV. Wikimedia.org [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Primoco_UAV,_model_One_-_100.jpg
- [28] NASA předvedla unikátní dron s otočným křídlem a deseti rotory. Idnes.cz [online]. 11. 5. 2015 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/konvertibilni-dron-nasa-greased-lightning.A150507_102554_tec_technika_pka
- [29] Poľnohospodársky dron eBee od SenseFly získal väčšie krídla. Techpedia.ta3.com [online]. 7. 10. 2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://techpedia.ta3.com/technologie-pre-biznis/novinky/agro-a-potravinarstvo/3598/polnohospodarsky-dron-ebec-od-sensefly-ziskal-vacsie-kridla>
- [30] Skyspotter 150. Liaz-uav.com/ [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.liaz-uav.com/>

- [31] YUNEEC hexakoptéra - dron, TYPHOON H Advance s kamerou CGO3-4K + ovladač WIZARD. Czc.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/yuneec-hexakoptera-dron-typhoon-h-advance-s-kamerou-cgo3-4k-ovladac-wizard/210489/produkt>
- [32] Kontrola fotovoltaiických elektráren termovizní kamerou. Unikitepla.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.unikytepla.cz/kontrola-fotovoltaiickych-elektarren-termovize/>
- [33] Mountain Rescue best video - Drone saves lives after avalanche / Horská služba používá dron. Youtube.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IxeLNNjPPjw&t=78s>
- [34] Reliable electric drive simulations. Ecalc.ch [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.ecalc.ch/>
- [35] Oprava poškozené kvadrokoptéry DJI Phantom 3 Professional. Droncentrum.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/oprava-poskozene-kvadrokoptery-phantom-3/>
- [36] Argasm MG1. Dji.com [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.dji.com/cz/mg-1?from=dap_unique&pbci=IN4xQqec&pm=custom
- [37] RECCO - lavínový záchranný systém. Skialp.hiking.sk [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://skialp.hiking.sk/hk/ar/455/recco_lavinovy_zachranny_system.html?fbclid=IwAR0vK26d_bTYFsljiAW9S0wuty-SrspOitIPwlbKHq2YjOkV3Mwpg_fCTb0
- [38] Flugregler Master Mezon 135 opto RPM, Hacker/Jeti. <https://www.hoelleinshop.com/> [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.hoelleinshop.com/Alles-fuer-den-Elektroflug/Flugregler-und-externes-BEC/Flugregler-Master-Mezon-135-opto-RPM-Hacker-Jeti-11059135.htm?shop=hoellein&SessionId=&a=article&ProdNr=H11059135&t=49302&c=62&p=62>
- [39] Bighobby- NANO Tech 10000mAh 2S 35C (70C). Bighobby.cz [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.hoelleinshop.com/Alles-fuer-den-Elektroflug/Flugregler-und-externes-BEC/Flugregler-Master-Mezon-135-opto-RPM-Hacker-Jeti-11059135.htm?shop=hoellein&SessionId=&a=article&ProdNr=H11059135&t=49302&c=62&p=62>
- [40] 4 DJI Phantom 4 - PRO. Cdiscount.com [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.cdiscount.com/juniors/radiocommande-robot/helice-de-lame-de-fibre-de-carbone-silencieuse-a-r/f-1208503-auc2009154851405.html?fbclid=IwAR3KpK5p9HAWxLNJxr8J8galubrSlyKqtjt3Ty2X7oy9clehKghYnt7aAgk>

- [41] AIM | Air Navigation Services of the CR [online]. Copyright © [cit. 19.05.2020]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [42] Co se s drony musí, smí a nesmí, aneb legendární Doplněk X. Droneweb [online]. Copyright © Droneweb.cz 2015 [cit. 19.05.2020]. Dostupné z: <http://droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/136-legislativa-doplněk-x>
- [43] [online]. Copyright © 2016 [cit. 19.05.2020]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/pravidla-pro-letani-aneb-co-vse-s-dronem-ne-smite>
- [44] V Krkonoších platí zákaz létání dronů, ale jsou i výjimky - Dronim. Dronim - to nejlepší ze světa dronů [online]. Copyright © Dronim.cz [cit. 19.05.2020]. Dostupné z: <https://www.dronim.cz/drony-krkonose/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Finální koncept jako výbava Horské služby.....	2
Obrázek 2 - Jedoosobní letoun pro transport zraněné osoby [12]	3
Obrázek 3 – Bezpilotní letoun Robodrone Kingfisher firmy Robodrone Industries [13]	4
Obrázek 4 – Bezpilotní letoun DJI Matrice 210 složky HZS ČR [14].....	4
Obrázek 5 – Bezpilotní letoun navržený k transportu AED [16]	5
Obrázek 6 - designérské návrhy [25].....	6
Obrázek 7 – Bezpilotní letoun odpalován z rampy [26]	11
Obrázek 8 – Bezpilotní letoun Primoco [27]	11
Obrázek 9 - Bezpilotní letoun společnosti NASA s otočnými křídly [28].....	11
Obrázek 10 - Bezpilotní letoun "eBee" s pevnými křídly [29]	12
Obrázek 11 - Bezpilotní letoun SkySpotter 150 [30].....	13
Obrázek 12 - Hexakoptéra Typhoon H [31].....	14
Obrázek 13 - Koaxiální hexakoptéra [2]	15
Obrázek 14 - Kontrola fotovoltaiických elektráren termovizní kamerou [32]	16
Obrázek 15 - Základní konfigurace motorů a smysl rotace vrtulí [6].....	17
Obrázek 16 – Hexakoptéra [6]	18
Obrázek 17 - Znak Horské Služby [22].....	21
Obrázek 18 - Dron HS transportován čtyřkolkou [33].....	24
Obrázek 19 – Roztřídění využití dronu	26
Obrázek 20 - Dron Robodrone Kingfisher [13]	27
Obrázek 21 - Dron Robodrone Kingfisher [13]	28
Obrázek 22 - Hodnoty vlastností dronu vygenerované online kalkulací „xcopterCalc“ [34]	29
Obrázek 23 - Charakteristika motoru při plném plynu [34]	29
Obrázek 24 - Náhled skic pro variantu 1	30
Obrázek 25 – Skica 1. varianty se čtyřmi rotory.....	31
Obrázek 26 - Skica 1. varianty s osmi rotory	31
Obrázek 27 – Tvorba skici 1. varianty využitím fix	32
Obrázek 28 - Barevná kompozice záchranné oktokoptéry.....	32
Obrázek 29 – Skica letounu 2. varianty zepředu.....	33
Obrázek 30 - Skica letounu 2. varianty zezadu	33
Obrázek 31 - Rozložené jednotlivých rotorů letounu 2. varianty	33
Obrázek 32 - Skica letounu 2. varianty využitím fix	34
Obrázek 33 - Skica návrhu těla dronu 3. varianty	35
Obrázek 34 - Skica pohledu zhora 3. varianta.....	35

Obrázek 35 - Skica profilu 3. varinty	36
Obrázek 36 - Skica návrhu uložení jednotlivých ramen profilu 3. varinty	36
Obrázek 37 - Skice návrhu 3. varianty využitím fix	37
Obrázek 38 - Barevná kompozice hexakoptéry	37
Obrázek 39 - Rozložení centrálních desek těla dronu.....	39
Obrázek 40 - Rozpoložení kružnic opsaných vrtulemi	40
Obrázek 41 - skládací vrtule DJI [40]	41
Obrázek 42 - skládací vrtule DJI [40]	41
Obrázek 43 - Akumulátor NANO Tech - [39]	43
Obrázek 44 - Rozpoložení akumulátoru	43
Obrázek 45 - Články ukumulátoru.....	44
Obrázek 46 - Regulátor MASTER MEZON 135 opto RPM [38]	45
Obrázek 47 - Rozpoložení středových kružnic vrtulí	46
Obrázek 48 - Horní a dolní pohled na vrchní část těla dronu	47
Obrázek 49 - Plochy pro umístění krytů vrtulí	47
Obrázek 50 – Složená vrtule na rameni dronu.....	48
Obrázek 51 - Složené rameno dronu se složenou vrtulí	48
Obrázek 52 - Návrh pojistého kolíku na spodní části ramene	49
Obrázek 53 - Návrh pojistného plíšku	49
Obrázek 54 - DJI Phantom 3 Professional	50
Obrázek 55 - Dron AGRAS MG – 1	50
Obrázek 56 - Prostor pro umístění řídicí elektroniky	51
Obrázek 57 - Kryt akumulátoru	52
Obrázek 58 - Skoba pro uchycení lana	52
Obrázek 59 - Záchranářský box	53
Obrázek 60 - Připevnění záchranářského boxu k tělu dronu	54
Obrázek 61 - Podvozek dronu	54
Obrázek 62 - Optické moduly dronu	55
Obrázek 63 – Lavinový senzor [37]	56
Obrázek 64 - Barevná kompozice záchranářského dronu.....	57
Obrázek 65 - Pohled shora	57
Obrázek 66 - Pohled zezdola	58
Obrázek 67 - Pohled zezdola v situaci svítících světél.....	58
Obrázek 68 - Zadání okrajových podmínek.....	61
Obrázek 69 - Výsledek statické pevnostní analýzy zatížení jedné nohy	62
Obrázek 70 - Detail kritického místa	62

Seznam příloh

Příloha A – Skici variant

Příloha B – Výkresová dokumentace